



УКРАЇНА

(19) UA (11) 63409 (13) U
(51) МПК (2011.01)
B61K 9/00

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

видається під
відповідальність
власника
патенту

(54) СПОСІБ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЕЛЕМЕНТІВ СИСТЕМ ЗАЛІЗНИЧНИХ ПАСАЖИРСЬКИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ

1

2

(21) u201102627

(22) 09.03.2011

(24) 10.10.2011

(46) 10.10.2011, Бюл.№ 19, 2011 р.

(72) БУТЬКО ТЕТЯНА ВАСИЛІВНА, ПРОХОРЧЕНКО АНДРІЙ ВОЛОДИМИРОВИЧ, ХОДАКІВСЬКИЙ ОЛЕКСІЙ МИКОЛАЙОВИЧ

(73) УКРАЇНСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

(57) Спосіб експлуатації системи залізничних пасажирських перевезень, в якому існує можливість синхронізувати процес формування пасажиропотоків по параметрах і структурі з процесом утворення составів на пасажирсько-технічній станції,

заснований на використанні методів прогнозування, який **відрізняється** тим, що прогнозування виконується на основі нечітко-нейро-генетичного моделювання, що дозволяє враховувати фактор послідовності днів тижня у періоді прогнозування відповідно вибраному сезону, надає властивості самонавчання і, як наслідок, виконувати дії з матеріальними об'єктами (зміна календарно-тимчасових характеристик курсування поїздів, зміна композиції состава поїзда), які у часі здійснюються після оцінки стану та визначення відповідних регульовальних заходів щодо цих поїздів і вагонів.

Корисна модель належить до експлуатації залізничних систем і може бути використана для управління елементами системи як залізничного (поїзди, локомотиви, вагони і т. ін.), так і інших видів транспорту.

Відомий спосіб експлуатації елементів системи залізничних пасажирських перевезень передбачає врахування незначних коливань пасажиропотоку за рахунок зміни загальної місткості составів поїздів, що обертаються, а на стадії значної зміни попиту на перевезення - за рахунок корегування розмірів їх руху. Процес прийняття рішення щодо зміни композиції составу або введення додаткового поїзда має декілька стадій: на підставі аналізу використання місць в поїздах свого формування в межах терміну резервування об'єднане бюро по розподілу місць в поїздах (ОДБ) готує пропозиції в оперативний відділ пасажирської служби і узгоджує питання технологічної та технічної можливості організації запропонованих заходів з ОДБ залізниць оберту поїзда та з вагонною дільницею (ВЧД), пасажирською технічною станцією (ПТС) формування. В свою чергу на рівні пасажирської служби проводяться внутрішні узгодження з вагонним відділком (В) та обов'язкові консультаційні заходи з оперативним відділом залізничної оберту поїзда. Узагальнюючи ці відомості, пасажирська служба узгоджує запропоновані рекомендації з головним пасажирським управлінням. Приймає та "узгоджене рішення по відчепленню або заміні типу окремих вагонів, причепленню факультивних вагонів, призначення або відміни поїзда, перехід на інший режим продажу квитків передається у формі вказівок (наказів) по перехідним телеграмам із пасажирських служб залізниць формування та оберту поїзда на інформаційно-статистичний центр (ІСЦ), ОДБ, ПТС, ВЧД для виконання. Недоліком даного способу є залежність точності планування від досвіду практичної роботи працівників ПТС, ОДБ та пасажирських служб. Цей спосіб заснований на аналізі історичних даних щодо об'ємів перевезень, варіантів схем формування составів, що призводить до значних помилок щодо запропонованої місткості составів та їх строків призначення або відміни. [Семен К. Ф., Зашихина Л. И., Чантурия Г. Я. Современный опыт оперативного планирования, разработки схемы обращения пассажирских поездов и регулирования пассажирских перевозок. - Тр. ВНИИЖТ, 1982. - Вып. 662. - С.6-14. Макаров Е. А., Соморова Ю. А. Опыт оперативного планирования сроков назначения и отмены пассажирских поездов на Октябрьской дороге. - В кн.: Повышение эффективности пассажирских перевозок. Сб. науч. тр. М.: Транспорт, 1986. - С. 33-38. Самсонкин В. М., Гудков О. М. Про підвищення ефективності пасажирських перевезень на залізничному транспорті // Залізничний транспорт України.-2004. - №1. - С. 43-45.]

Найбільш близьким за сукупністю ознак до запропонованої корисної моделі є спосіб експлуатації елементів інфраструктури залізничного транспорту, який засновано на використанні регресійних

UA (11) 63409 (13) U

і багатофакторних методів прогнозу [Лукашев В. И. Регулирование размеров пассажирского движения на основе прогноза. - Тр. ВНИИЖТ, 1982. - Вып. 662. - С. 53-77].

Причини, які перешкоджають одержанню прототипом необхідного технічного результату полягають у наступному: аналіз динаміки інтенсивності пасажиропотоків по місяцях року свідчить про наявність коливань, що обумовлені впливом сезонного фактору (літні перевезення, святкові дні, канікули), а також ефектом вихідного дня; аналіз величини наповненості поїздів по місяцях року доводить наявність тенденції, коли даний показник є меншим за прийнятий граничний показник у 80 %, тобто не забезпечується необхідний рівень рентабельності пасажирських перевезень і це вказує, що діюча система організації пасажирських перевезень не є достатньо адаптивною до сучасних вимог транспортно-ринку.

В основу корисної моделі поставлена задача удосконалення експлуатації елементів системи залізничних пасажирських перевезень на основі комплексу моделей прогнозування і планування, що дозволяють синхронізувати процес формування пасажиропотоків по параметрам і структурі з процесом утворення составів на ПТС, яка дозволяє перерозподілити робочий парк пасажирських вагонів за рахунок вивільнення малонаповнених вагонів і використання їх на напрямках з більш потужним пасажиропотоком, що в свою чергу сприяє вивільненню в середньому до 8 % робочого парку пасажирських вагонів, при цьому загальна економія річних експлуатаційних витрат складе 3,5 % від існуючих, собівартість одного відправленого пасажирів зменшиться на 3,47 %.

До суттєвих ознак, які характеризують корисну модель, слід віднести: розроблений спосіб експлуатації системи залізничних пасажирських перевезень надає можливість синхронізувати процес формування пасажиропотоків по параметрам і структурі з процесом утворення составів на ПТС, що дозволяє перерозподілити робочий парк пасажирських вагонів за рахунок вивільнення малонаповнених вагонів і використання їх на напрямках з більш потужним пасажиропотоком; для оперативного прогнозування пасажиропотоків розроблено модель на основі нечітко-нейро-генетичного моделювання, що дозволяє на відміну від існуючих, враховувати фактор послідовності днів тижня у періоді прогнозування відповідно вибраному сезону, надає властивості самонавчання та забезпечує похибку прогнозування не більше 3-4 %; для підвищення якості оперативного планування формалізовано процес визначення регулювальних заходів щодо встановлення строків курсування пасажирських поїздів і внесення оперативних змін до схем їх формування відповідно існуючого попиту на перевезення на основі розробки модуля регулювання утворення составів з використанням нечіткого логічного висновку; реалізація більшості кроків процесу прогнозування в автоматичному режимі з можливістю безпосереднього прогнозу добового пасажиропотоку з перспективою на п'ять днів на основі методики прогнозування за віддаленим горизонтом.

Причинно-наслідковий зв'язок між сукупністю ознак, що заявляються, та технічним результатом полягає у наступному: розроблений спосіб експлуатації системи залізничних пасажирських перевезень дозволяє вивільнити в середньому до 8 % робочого парку пасажирських вагонів, при цьому загальна економія річних експлуатаційних витрат складе 3,5 % від існуючих, собівартість одного відправленого пасажирів зменшиться на 3,47 %.

Суть запропонованої корисної моделі пояснюється кресленнями.

На фіг. 1 зображено орієнтований граф $G = (X, F)$. При цьому вершини графа - це запропоновані нейро-нечіткі мережі прогнозування, що навчені на вибірці даних окремого типу дня тижня та сезону року, тобто: F_1 , - модель після вихідного дня або свята; $F_{2,1}$ $F_{2,2}$ $F_{2,3}$ - моделі, що відповідають відповідно першому, другому та третьому дню середини тижня; F_3 - модель перед вихідного дня або свята; $F_{4,1}$ $F_{4,2}$ $F_{4,3}$ - моделі вихідного дня відповідно до їх послідовності.

На фіг. 2 - загальна структура моделі.

На фіг. 3 - функціональна схема оперативного регулювання утворення составів.

Розроблено спосіб експлуатації елементів системи залізничних пасажирських перевезень на основі комплексу моделей, що, послідовно реалізують процес прогнозування пасажиропотоків, визначення регулювальних заходів відносно строків курсування пасажирських поїздів і внесення оперативних змін до схем їх формування з проведенням розрахунку раціональної композиції составів.

Для формалізації факторів невизначеності тенденції зміни попиту на перевезення розроблено гібридну модель оперативного прогнозування пасажиропотоків із застосуванням методики здобуття знань з експериментальних даних на основі нечітко-нейро-генетичного моделювання, що дозволяє виконувати прогноз добового пасажиропотоку з перспективою на п'ять днів та можливістю врахування послідовності типу днів тижня відповідно до сезону року в періоді прогнозування. Доведено, що запропонований алгоритм прогнозування стійкий до неточностей вхідної інформації та забезпечує похибку не більше 3-4 %. Вхідною інформацією для проведення прогнозування є часовий ряд щодобових даних кількості перевезених пасажирів на напрямку, що складається з d значень ряду в послідовні моменти часу $X_{t-d} = (X_{t-1}, \dots, X_{t-d})$, де d - глибина занурення відповідно до тижневої періодичності. Виходячи з вибраних підходів побудови прогнозуальної моделі інтервал прогнозування встановлюється за принципом віддаленого горизонту.

Практичне застосування теорії нечітких множин передбачає представлення кількісних значень

вхідних змінних моделі x_i , $i = \overline{1,4}$ у вигляді лінгвістичних змінних (ЛЗ), внаслідок чого втрачається точність, проте отримується пристосованість до невизначених умов задачі прогнозування пасажиропотоків, що характеризується нечіткістю вхідної

інформації, неможливістю достовірного визначення попиту пасажирів та високим рівнем невизначеності параметрів та структури пасажиропотоків. Виходячи з цього, для гнучкого опису можливого спектру обсягів пасажиропотоків ЛЗ N_i , - оцінені з використанням п'яти якісних термів T_i^p , $p = \overline{1, l}$ із наступної терм-множини $T_i \forall$ {низький, нижчий за середнє, середній, вищий за середнє, високий}, $T_i^p \in T_i$, де кожен терм T_i^p описується нечіткою множиною $\tilde{C}_j^p = \{\{\mu_{\tilde{C}_j^p}(x_i) / x_i\}\}$, $x_i \in T_i$, де $\mu_{\tilde{C}_j^p} : X_i \rightarrow [0,1]$ - функція приналежності (ФП), що є кривою Гауса $\mu_{\tilde{C}_j^p} = \exp[(x_i - b_i^p) / c_i^p]$, де x_i - елемент універсальної множини; b_i^p - координата максимуму функції; c_i^p - коефіцієнт концентрації функції, $x_i \in X_i$, $\tilde{C}_j^p \subset X_i$.

Застосування генетичних обчислень дозволяє спроектувати базу правил на основі нечіткого логічного висновку типу Такагі-Суджено, що дозволяє більш гнучко описати можливий спектр об'ємів перевезень, а також зменшити похибку апроксимації тимчасового ряду в умовах різних коливань пасажиропотоків. Множина правил представляє собою нечітку базу правил R , в якій нечітке правило $r^k, k = \overline{1, n}$ для змінних $x_i, i = \overline{1, n}$ можна представити як логічну комбінацію в наступному вигляді

$$\begin{aligned} r^k, \text{ЯКЩО } x_1 \in F_1^k(x_1) \perp \dots \perp x_n \in F_n^k(x_n), \\ \text{ТО } y^k = p_0^k + p_1^k x_1 + \dots + p_n^k x_n, [w^k], \end{aligned} \quad (1)$$

де F_i^k - нечіткий терм з ФП $\mu_{F_i^k}(x_i)$; y^k - вихід кожного правила з відповідними коефіцієнтами p_1^k, \dots, p_n^k та вільною складовою p_0^k ; $w^k \in [0,1]$ - вага правила; \perp - операція логічного зв'язування: та, або.

Запропонована база правил описує складні залежності формування пасажиропотоків і представлена у вигляді функціонально еквівалентної структури адаптивної нейро-нечіткої системи висновків (ANFIS), що дозволяє покращити точність прогнозування на основі механізму донавчання в процесі роботи.

Для підвищення швидкості та точності генерування структури нейроподібної мережі розроблено процедуру навчання моделі прогнозування на основі самоорганізації з використанням генетичного алгоритму з дійсним кодуванням (англ.: Real-coded Genetic Algorithm, RGA). Для реалізації генетичного моделювання набір параметрів моделі представлено у формі хромосоми фіксованої довжини C_n , що складається з чотирьох частин

$$C_n = (C^1 C^2 C^3 C^4), \quad (2)$$

де $h = \overline{1, K}$ - номер хромосоми C ;
 $C^1 = (b_{11}^p, c_{11}^p, \dots, b_{nl_n}^p, c_{nl_n}^p)$ - параметри ФП,

l_i - кількість термів змінної x_i , $l_1 + l_2 + \dots + l_n = g$,
 g - загальна кількість термів; $C^2 = (p_0^k, p_1^k, \dots, p_n^k)$ - коефіцієнти висновків відповідних правил,

$k = \overline{1, N}$; $C^3 = (1, 2, \dots, g)$ - моделювання зміни положення елементів терм-множини в умові правил

за прямим способом, $g = \overline{1, L}$, $C^4 = (k)$ - моделювання згідно прямого виконання виду логічного зв'язування, $k = 1, 2$, де 1 - операція кон'юнкції "та"; 2 - операція диз'юнкції "або". Заданою мірою якості для RGA є функція пристосованості, що забезпечує мінімальне відхилення між теоретичними і експериментальними результатами моделювання на навчальній вибірці (RMSE).

З метою пристосування прогнозу моделі до динамічного характеру розвитку процесу формування пасажиропотоків необхідним є проведення "тонкої" настройки змінних параметрів мережі на основі алгоритму донавчання, що базується на комбінації градієнтного спуску у вигляді алгоритму зворотного розповсюдження помилки і методу найменших квадратів.

Для формалізації процесу прийняття рішень щодо призначення і відміни додаткових пасажирських поїздів і причіпних вагонів розроблено нечіткий модуль регулювання з двома входами та одним дискретним виходом, що має вигляд

$$\begin{aligned} R^1: \text{ЯКЩО } G_1 \in A_j^1 \text{ та } G_2 \in B_j^1, \text{ ТО} \\ d_k \in C_k, [w^1] \end{aligned} \quad (3)$$

ІНАКШЕ

R^1 : ЯКЩО... ТО....

де R^1 - номер нечіткого правила; G_1 - ЛЗ "Припустимі темпи - зміни пасажиропотоку" з визначенням наступної терм-множини $T_1 \forall$ {"від'ємно високі" (ВВ), "від'ємно низькі" (ВН), "незначні" (Н), "додатньо низькі" (ДН), "додатньо високі" (ДВ)}; G_2 - ЛЗ "Коефіцієнт використання місткості пасажирських поїздів" з терм-множиною $T_2 \forall$ {"нижче мінімального" (НМ), "оптимальне" (О), "вище максимального" (ВМ)}; "та" - операція логічного зв'язування; A_j^1, B_j^1, C_k - нечіткі множини, що визначені на універсумах U, V, W з ФП $\mu_A^i(x), \mu_B^i(y), \dots, \mu_D^i(d)$, $i = \overline{1, M}$, відповідно; $w^1 \in [0,1]$ - вага правила, що характеризує ступінь впевненості; C_k - нечіткі терми вихідної ЛЗ, що відповідають рівням прийняття рішень d_k ,

$k = \overline{1,7}$: d_1 - не змінювати розмірів, пасажирсько-го руху та кількості запропонованих місць у поїздах; d_2 - зменшити кількість місць у поїздах; d_3 - збільшити кількість місць у поїздах; d_4 - відмінити додатковий поїзд; d_5 - призначити додатковий поїзд; d_6 - скасувати додатковий поїзд із одночасним збільшенням місткості поїздів, що залишилися в обігу; d_7 - призначити додатковий поїзд із одно-

часним зменшенням кількості запропонованих місць у поїздах, що перебувають в обігу.

Процес роботи нечіткого модуля заснований на нечіткому алгоритмі висновків за max-min принципом. Для визначення чіткої відповідності отриманого рішення до одного з рівнів прийняття управляючої дії використано метод "центру максимумів".

Для реалізації управляючих дій по призначенню додаткового поїзда розроблена модель раціонального визначення композиції составу поїзда на основі нечіткого програмування, яка має наступний вигляд

$$F = \sum_{i=1}^m c_i x_i \rightarrow \min \quad (4)$$

при наступних обмеженнях

$$\begin{cases} \sigma\{\sum_{i=1}^m \beta_{ij} \varphi_i x_i > \tilde{A}_j(t)\} \geq \alpha_j, \quad j = \overline{1, n} \\ \sigma\{\beta_{ij} \varphi_i x_i < \tilde{a}_{ij}(t)\} \geq \alpha_j, \\ \sum_{i=1}^m l_i x_i \leq L_{\max}, \quad x_i \leq R_i, \\ \alpha_j \in [0,1], \quad x_i - \text{ціле}, \quad x \in X \quad (i = \overline{1, m}) \end{cases} \quad (5)$$

де i - тип вагону робочого парку; m - кількість вагонів різного типу; c_i - експлуатаційні витрати, що виникають при використанні вагону i -го типу; x_i - кількість пасажирських вагонів i -го типу; \approx, \lesssim позначає нечітке відношення; σ - нечітка міра; $\alpha_j \in U = [0,1]$ - рівні нечіткості (припустимі межі освоєння пасажиропотоку, 0,8-0,9); j - рівень нечіткості; n - кількість рівнів нечіткості; β_{ij} - мінімальний рівень населеності вагону i -го типу відповідно до j -го рівня нечіткості, що відображає задану рентабельність (при відправленні з головної станції - 0,65-0,8, а на маршруті в цілому - 0,6-0,7); φ_i - величина місткості вагону i -го типу; $\tilde{A}_j(t)$, $\tilde{a}_{ij}(t)$ - прогноза кількість пасажирів, відповідно загальна та з розподілом по типам вагонів, які представлені у вигляді дискретних нечітких випадкових величин, що приймають значення (X_{i1}, \dots, X_{iin}) з ймовірнос-

тями, (p_{i1}, \dots, p_{iin}) та відповідною ФП

$\mu_{EA}(t) = \exp\{-(t-a)/b\}^2\}$, де $a = \sum_{i=1}^n p_i a_i$ та

$b = \sum_{i=1}^n p_i b_i$, якщо (X_1, \dots, X_n) є мінімв'язними нечіткими нормальними змінними з параметрами $(a_1, b_2), \dots, (a_n, b_n)$; l_i - розрахункова довжина вагону i -го типу; L_{\max} - максимально можлива довжина поїзду на напрямку; R_i - кількість вагонів i -го типу робочого парку;

В межах вирішення задачі визначення раціональної композиції составу поїзда в умовах переформування на станціях приписки з метою зменшення або збільшення кількості місць у поїзді запропоновано критерій доцільності переформування составу, що виходить із умови

$$\sum \gamma_i D_i x_i + \sum \delta_i Z_i x_i + \sum \delta_i Z_i^{\text{бр}} x_i - \sum \gamma_i c_i^{\text{бр}} x_i - \sum \gamma_i e_i x_i \geq \sum \delta_i e_i^{\text{пер}} x_i + \sum \gamma_i e_i^{\text{пер}} x_i, \quad (6)$$

де D_i - доходи, що будуть одержані від перевезення пасажирів у i -му типі вагону, що причіпляється до состава; Z_i - економія експлуатаційних витрат за рахунок відчеплення вагона i -го типу; $Z_i^{\text{бр}}$ - економія витрат на бригади провідників, що зв'язані з відчепленням вагонів i -го типу; $c_i^{\text{бр}}$ - витрати на введення додаткових бригад провідни-

ків при причепленні вагонів i -го типу; e_i - експлуатаційні витрати на введення до схеми формування вагонів i -го типу; $e_i^{\text{пер}}$ - витрати на маневрову роботу при виконанні перестановки одного або декількох типів вагонів на інші; δ_i , γ_i - одиничні функції Хевісайда, які моделюють відповідно варіант відчеплення та причеплення вагону i -го типу

