

МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ

УДК 656.21-047.36

Д. О. ПОЛІЩУК^{1*}

^{1*}Відокремлений підрозділ «Інформаційно-обчислювальний центр», Державне територіально-галузеве об'єднання «Львівська залізниця», вул. Гоголя, 1, Львів, Україна, 79000, +38 (063) 879 96 11, ел. пошта d_pole@mail.ru

КОМПЛЕКСНЕ ОЦІНЮВАННЯ СТАНУ ТА ЯКОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ЗАЛІЗНИЧНИХ СТАНЦІЙ

Мета. Розробка нових та удосконалення існуючих методів оцінювання стану й якості функціонування залізничних станцій для підвищення ефективності їхньої роботи. **Методика.** У процесі дослідження використовувалися засоби локального, прогностичного, агрегованого та інтерактивного аналізів стану, а також якості функціонування елементів станційної інфраструктури й обробки поїздів на станціях. Локальні оцінки одержуються на основі результатів планових і позапланових оглядів. На основі набору локальних оцінок будуються агреговані оцінки різного ступеня загальності. Метод інтерактивного оцінювання ґрунтується на аналізі дотримання графіка руху поїздів. Метод прогностичного аналізу використовує передісторію оцінок, одержаних під час попередніх оглядів. **Результати.** Внаслідок проведених досліджень запропоновано комплексний детерміністичний підхід до оцінювання станційного господарства Укрзалізниці. Цей підхід дозволяє встановити достатньо повну й об'єктивну картину стану, якості функціонування та взаємодії об'єктів станційного господарства. **Наукова новизна.** Удосконалено існуючий метод оцінювання елементів станційної інфраструктури. Запропонований метод інтерактивного оцінювання дозволяє здійснювати безперервний моніторинг якості функціонування станції між плановими оглядами. **Практична значимість.** Запропоновану методику комплексного оцінювання можна застосовувати до структурних одиниць станційного господарства різного рівня ієрархії. Розроблене програмне забезпечення дозволяє оперативно орієнтуватися в результатах оцінювання та локалізувати виявлені недоліки.

Ключові слова: станційне господарство; якість функціонування; оцінювання; прогнозування; агрегація; безперервний моніторинг

Вступ

Залізнична транспортна система (ЗТС) України забезпечує близько 50 % усіх вантажних та пасажирських перевезень територією країни [10]. У той же час майже половина відправлень прибуває у пункти призначення із затримкою. Тому актуальним є проведення досліджень, спрямованих на підвищення ефективності функціонування ЗТС. Основними напрямками таких досліджень є розробка та удосконалення технологічних процесів залізничних станцій [1, 3, 7], оптимізація графіка руху

поїздів [1, 10], ефективна організація вагонопотоків [2] тощо. Наведені напрямки досліджень спрямовані на покращення основних кількісних (навантаження і вивантаження вагонів, вантажообіг, пасажирообіг [6, 14]) та якісних (пробіг вагонів, поїздів, локомотивів [16]) експлуатаційних показників ЗТС.

Незадовільний стан залізничної колії, станційної інфраструктури або поїзда, неякісна робота працівників залізниці в кращому випадку можуть спричинити відхилення від графіка руху поїздів. У гіршому випадку наведені вище

МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ

обставини, якщо не кожна зокрема, то у сукупності, можуть стати причиною залізничної аварії. Тому значна увага приділяється оцінюванню стану та якості функціонування основних об'єктів залізниці, а також неперервному моніторингу процесів, які відбуваються у ЗТС, з метою запобігання аварійних ситуацій та покращення ефективності її роботи [3, 12, 13, 16, 17, 19].

Мета

На сьогодні для контролю стану об'єктів станційного господарства (СГ) використовуються візуальні огляди та спеціалізована техніка [5]. Відхилення від графіка руху поїздів фіксуються в інформаційних системах УЗ, які здійснюють відбір, обробку та візуалізацію інформації про функціонування об'єктів ЗТС. Проте через відсутність автоматизованих засобів аналізу цієї інформації, оцінювання результатів роботи станції загалом є суб'єктивним.

У цій статті пропонується комплексний детерміністичний підхід до оцінювання СГ УЗ, який полягає у поєднанні процедур локального, прогностичного, агрегованого та інтерактивного оцінювання основних його структурних одиниць на всіх рівнях ієрархії. Цей підхід дозволяє встановити достатньо повну та об'єктивну картину стану, якості функціонування та взаємодії об'єктів СГ з метою подальшого підвищення ефективності їхньої роботи.

Методика

Організація руху поїздів на залізниці перш за все залежить від злагодженого функціонування станційного господарства (СГ) загалом та роботи кожної окремої станції. До складу станційного господарства Укрзалізниці входять 1 498 станції та 129 вокзалів [10]. Залізничні станції за своїм призначенням поділяються на пасажирські, вантажні, сортувальні, дільничні і проміжні та, залежно від обсягу і складності виконання пасажирських, вантажних і технічних операцій, можуть бути позакласними або мати 1–5 клас [9]. Великі станції, частка яких у загальній структурі залізниці не перевищує 10 %, є складними системами (СС), складовими яких можуть бути станції всіх перерахованих вище видів, а набір реалізованих функцій – різномірним та численним. Загалом кожна велика

станція потребує самостійного дослідження. З погляду аналізу якості функціонування системи загалом стосовно таких об'єктів ЗТС доцільно будувати окремі методики комплексного оцінювання. Ми ж зосередимося на станціях 2–5 класу, які є проміжними на залізничних лініях та складають понад 90 % СГ УЗ. Основною функцією станції 2–5 класу є забезпечення надійного, безперебійного руху та обробки поїздів, які проходять через неї згідно з встановленим графіком. Реалізація цієї функції визначається станом інфраструктури станції та організацією технологічного процесу її роботи, яка прямо чи опосередковано від цього стану залежить.

Станція є відкритою системою, на яку впливають внутрішні (стан об'єктів інфраструктури, організація технологічного процесу) та зовнішні (робота інших станцій, стан міжстанційних перегонів, чутливість графіка руху поїздів до малих затримок тощо) чинники. Частина з них має випадковий характер, інші можуть бути регулярними. Мета цього дослідження полягає у виявленні регулярних факторів, які негативно впливають на роботу станції.

Оцінювання станції виконується за результатами планових оглядів та неперервного моніторингу її роботи. Під час планового огляду насамперед здійснюється локальне оцінювання стану всіх об'єктів інфраструктури станції, потім – процесу її функціонування, тобто якості обробки поїздів, які через цю станцію проходять. Оцінка інфраструктури є першочерговою, оскільки незадовільний стан окремих її елементів може не дозволити якісно виконувати операції з поїздами.

Одержання унаслідок останнього планового дослідження відмінних від негативних оцінок стану та якості роботи станції зовсім не означає, що вони збережуться такими ж до наступного огляду. Тому для відстеження можливості переходу стану інфраструктури через «поріг безпеки» [17] та попередження негативних тенденцій у роботі станції в процедуру оцінювання необхідно включати принаймні короткостроковий прогностичний аналіз поведінки її оцінок.

Кількість локальних та прогностичних оцінок стану та процесу функціонування станції може сягати тисяч одиниць. Для оперативного опрацювання висновків оцінювання ми використовуємо процедури агрегації та засоби низхід-

МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ

ного аналізу для локалізації об'єктів, які одержали негативні чи близькі до них оцінки.

Неперервний моніторинг роботи станції виконується шляхом постійного аналізу дотримання графіка руху поїздів, які обробляються на ній. Це дає можливість здійснювати опосередкований, але достатньо інформативний та оперативний контроль за роботою станції. У поєднанні методи локального, прогностичного, агрегованого та інтерактивного оцінювання утворюють методику системного комплексного аналізу стану, якості функціонування станції та її взаємодії з іншими об'єктами ЗТС.

Оцінювання стану станційної інфраструктури. Як приклад, розглянемо інфраструктуру проміжної станції Сихів 4-го класу Львівської залізниці. Схема цієї станції зображена на рис. 1. Вона включає такі об'єкти, як колійний розвиток (1–10), навантажувально-розвантажувальні пристрої (12), пасажирські приміщення (11) та платформи (13–14) тощо. Визначальною складовою інфраструктури, яка забезпечує реалізацію основної функції станції є її колійний розвиток. Для його оцінювання використовуємо методику, запропоновану в роботі [12].

Колійний розвиток станції D є сукупністю колій різного призначення: $D = \{D_i\}_{i=1}^N$. На станції Сихів до множини D належать головна колія (D_1), навантажувально-вивантажувальна колія (D_2), приймально-відправочні колії ($D_3 - D_7$), під'їзна колія (D_8) та вловлюючі тупики (D_9, D_{10}). Кожну з колій D_i розбиваємо на елементарні ділянки $D_{i,j}$, $j = \overline{1, N_i}$, $i = \overline{1, N}$, які відрізняються своїми просторовими, конструктивними та іншими особливостями і розділені стрілочними переводами, переходами, переїздами тощо. За цими ознаками головна колія станції Сихів поділяється на три ділянки (див. рис. 1): крива ($D_{1,1}$), пряма ($D_{1,2}$) та крива ($D_{1,3}$). Загалом колійний розвиток цієї станції складається із 34 елементарних ділянок, які мають різне призначення, категорії і відрізняються встановленими нормативами своєї будови та максимально допустимими відхиленнями від них [9, 15].

Кожна із елементарних ділянок складається із визначеного набору компонент, таких як рей-

ки, шпали, баласт, земляне полотно тощо. Для кожної із цих компонент формується набір характеристик, які описують їхній стан. Позначимо $\{f_{i,j}^k(x)\}_{k=1}^{K_{i,j}}$, $x \in [0, X_{i,j}]$ – набір характеристик елементарної ділянки $D_{i,j}$; $X_{i,j}$ – довжина ділянки; $F_{i,j}^k[0, X_{i,j}]$ – область допустимих значень характеристики $f_{i,j}^k(x)$, яка визначається стандартами будови колії, $k = \overline{1, K_{i,j}}$, $j = \overline{1, N_i}$, $i = \overline{1, N}$. У процесі дослідження нами було виділено понад 40 характеристик стану колії і визначено 4 основні типи їхньої поведінки та вигляду області допустимих значень [12].

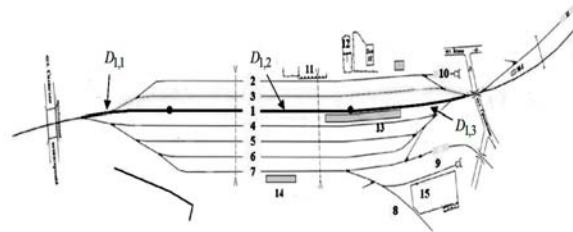


Рис. 1. Схема станції Сихів

Принцип побудови алгоритмів локального оцінювання проілюструємо на прикладі аналізу поведінки характеристики $f(x)$, яка описує взаємне вертикальне розміщення рейок на ділянці $D_{1,2}$ під час руху поїзда з максимальними для цієї ділянки швидкістю і вагою. Для цієї характеристики область допустимих значень має вигляд $G = \{f(x) : f_{norm} \leq f(x) \leq f_{max}, x \in [0, X_{1,2}]\}$, де $f_{max} = 5$ мм – максимально допустиме відхилення характеристики $f(x)$ від її нормативного значення $f_{norm} = 0$ мм. Значення $f(x)$ визначають під час огляду колії вагоном-дефектоскопом.

Вважаємо (див. рис. 2), що поведінка характеристики є «відмінною», якщо $f(x) = f_{norm}$, $x \in [0, X_{1,2}]$. Підобласть $(f_{norm}, \gamma]$, де значення $\gamma = 2$ мм обране згідно з висновками експертів, відповідає поведінці «добре», підобласть $(\gamma, f_{max}]$ – поведінці «задовільно». Якщо значення $f(x)$ перевищують величину f_{max} , то поведінка характеристики вважається «незадо-

МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ

вільною». Зрозуміло, що поведінка $f(x)$ на ділянці колії визначається за її найбільшим відхиленням від нормативу. На рис. 2 також зображено (лінії 1–3) три варіанти поведінки характеристики на елементарній ділянці.

Для оцінювання досліджуваної характеристики будемо використовувати два підходи. Перший із них формує уточнену бальну оцінку $e_{C_0}(f)$ на підставі аналізу величини максимальних збурень $f(x)$, $x \in [0, X]$ на елементарній ділянці, а саме: вважаємо, що значення $e_{C_0}(f)$ дорівнює:

$$5, \text{ якщо } \|f(x)\|_{C_0[0, X]} \equiv f_{norm};$$

$$4 + (\gamma - \|f(x)\|_{C_0[0, X]})/\gamma,$$

$$\text{якщо } f_{max} < \|f(x)\|_{C_0[0, X]} \leq \gamma;$$

$$3 + (f_{max} - \|f(x)\|_{C_0[0, X]})/(f_{max} - \gamma),$$

$$\text{якщо } \gamma < \|f(x)\|_{C_0[0, X]} \leq f_{max};$$

$$2, \text{ якщо } f_{max} < \|f(x)\|_{C_0[0, X]}.$$

Другий підхід формує уточнену бальну оцінку $e_{L_0}(f)$ на підставі аналізу масовості збурень $f(x)$ на елементарній ділянці, а саме: вважаємо, що значення $e_{L_0}(f)$ дорівнює:

$$5, \text{ якщо } \|f(x)\|_{C_0[0, X]} \equiv f_{norm};$$

$$4 + (\gamma\sqrt{X} - \|f(x)\|_{L_2[0, X]})/\gamma\sqrt{X},$$

$$\text{якщо } f_{norm} < \|f(x)\|_{C_0[0, X]} \leq \gamma;$$

$$3 + ((f_{max} - \gamma)\sqrt{X} - \|f(x) - \gamma\|_{L_2[0, X]})/(f_{max} - \gamma)\sqrt{X},$$

$$\text{якщо } \gamma < \|f(x)\|_{C_0[0, X]} \leq f_{max};$$

$$2, \text{ якщо } f_{max} < \|f(x)\|_{C_0[0, X]}.$$

Пара оцінок $e_{C_0}(f) = 3,05$, $e_{L_0}(f) = 3,94$ означає, що вздовж обраної елементарної ділянки є лише точкові місця, де значення $f(x)$ є близькими до допустимих меж. Такі недоліки можна усунути за допомогою незначного локального ремонту (див. рис. 2, лінія 1). У той же час пара оцінок $e_{C_0}(f) = 3,01$, $e_{L_0}(f) = 3,02$ свідчить, що стан ділянки з огляду на досліджувану характеристику є близьким до критичного і вона потребує серйозного ремонту

(див. рис. 2, лінія 2). Пара оцінок $e_{C_0}(f) = 3,95$, $e_{L_0}(f) = 3,90$ означає, що стан ділянки з огляду на досліджувану характеристику є близьким до «доброго» (див. рис. 2, лінія 3). Тобто, побудовані нами оцінки дають достатньо конкретну, обґрунтовану та зрозумілу пересічному користувачу інформацію при дослідженні стану колії.

Розглянутий вище принцип побудови уточнених оцінок можна легко адаптувати до оцінювання всіх характеристик елементів колійного розвитку та інших об'єктів інфраструктури станції [11].

Аналогічно будуються уточнені оцінки $e_{C_1}(f)$, $e_{L_1}(f)$ для першої похідної характеристики $f(x)$, які дають змогу проаналізувати динаміку зміни стану колії вздовж елементарної ділянки. Осцилююча динаміка зазвичай свідчить про зниження комфортності та безпеки руху поїздів, особливо під час збільшення їхньої швидкості.

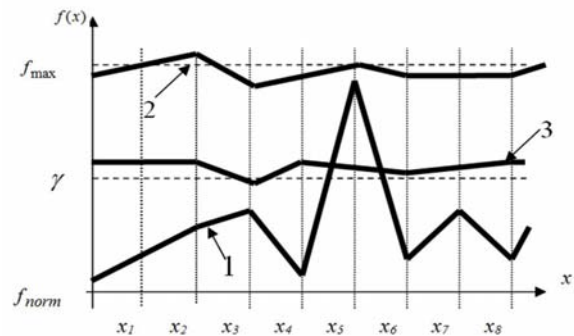


Рис. 2. Приклади поведінки характеристик елементарної ділянки колії (відрізки x_i , $i = \overline{1, 8}$, відповідають рейкам ділянки)

Короткострокове прогнозування сформованих вище оцінок характеристик елементарної ділянки здійснюємо за допомогою такого екстраполяційного алгоритму. Нехай $\{e_l\}_{l=1}^L$, $L \geq 2$, — передісторія оцінок, одержаних під час проведення попередніх планових досліджень в моменти часу $t_l \in [0, T]$, $l = \overline{1, L}$. Позначимо $\{\varphi_l(t)\}_{l=1}^L$ систему лінійно-незалежних функцій, визначених на проміжку $[0, T]$. Побудуємо функцію $e(t) = \sum_{l=1}^L a_l \varphi_l(t)$, де $\{a_l\}_{l=1}^L$ — вектор коефіцієнтів, які визначаються з умови

МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ

$\sum_{l=1}^L a_l \varphi_l(t_m) = e_m, \quad m = \overline{1, L}$. Тоді прогнозоване значення оцінки характеристики в момент t_{L+1} , наприклад, наступного планового огляду отримуємо із співвідношення $e(t_{L+1}) = \sum_{l=1}^L a_l \varphi_l(t_{L+1})$.

Як і при одержанні незадовільного висновку за результатами огляду, так і при негативному прогнозі поведінки характеристики, слід визначити дії, які дадуть можливість запобігти його реальному втіленню.

Якщо хоча б одна із оцінок $e_{C_0}(f)$, $e_{L_0}(f)$, $e_{C_1}(f)$, $e_{L_1}(f) \in$ «незадовільною», то узагальнену оцінку заданої характеристики теж вважаємо «незадовільною». В іншому випадку узагальнена оцінка поведінки характеристики $f(x)$ визначається за формулою

$$E(f) = (\rho_{C_0} e_{C_0}(f) + \rho_{C_1} e_{C_1}(f) + \rho_{L_0} e_{L_0}(f) + \rho_{L_1} e_{L_1}(f)) / (\rho_{C_0} + \rho_{C_1} + \rho_{L_0} + \rho_{L_1}), \quad (1)$$

де ρ_{C_0} , ρ_{C_1} , ρ_{L_0} , ρ_{L_1} – вагові коефіцієнти, які визначають пріоритетність параметрів оцінки характеристики.

Під час програмної реалізації результати оцінювання характеристик елементарної ділянки відображаються на діаграмі, зображеній на рис. 3. Тут k – загальна кількість характеристик ділянки, заштрихований стовпець діаграми відповідає кількості характеристик, які не оцінювались, а інші стовпці – характеристикам, цілочислова частина уточнених бальних оцінок яких дорівнює відповідному значенню осі абсцис.

Клацання курсором на стовпці діаграми супроводжується відображенням таблиці характеристик, цілочислова частина оцінки яких має відповідне значення (див. табл. 1). Якщо оцінка набуває значення більше, ніж 2, то в таблиці наводиться її конкретне значення.

Клікання курсором на назві характеристики у таблиці супроводжується відображенням графіка її поведінки на фоні області допустимих значень на елементарній ділянці, схематичне зображення якого наведено на рис. 2.

При формуванні узагальненої оцінки $E_{i,j}$ елементарної ділянки $D_{i,j}$ слід враховувати

реальну кількість оцінених характеристик. Тому значення $E_{i,j}$ обчислюємо за формулою

$$E_{i,j} = \sum_{k=1}^{K_{i,j}} \delta_{i,j}^k \rho_{i,j}^k E(f_{i,j}^k) / \sum_{k=1}^{K_{i,j}} \delta_{i,j}^k \rho_{i,j}^k, \quad (2)$$

де $E(f_{i,j}^k)$ – оцінка характеристики $f_{i,j}^k(x)$, одержана за співвідношенням вигляду (1), $\rho_{i,j}^k$ – вагові коефіцієнти, які визначають пріоритетність характеристик ділянки $D_{i,j}$,

$$\delta_{i,j}^k = \begin{cases} 0, & \text{якщо } f_{i,j}^k \text{ не оцінювалась,} \\ 1, & \text{якщо } f_{i,j}^k \text{ оцінювалась,} \end{cases}$$

$$\sum_{k=1}^{K_{i,j}} \delta_{i,j}^k > 0, \quad k = \overline{1, K_{i,j}}, \quad j = \overline{1, N_i}, \quad i = \overline{1, N}.$$

Таблиця 1

Перелік характеристик ділянки головної колії станції із задовільними оцінками

№	Характеристика	Оцінка
7	Дефект рейки з лівої сторони	3,44
16	Відстань між стиковими шпалами	3,89
21	Засмічення баласту фракціями більше 1 мм	3,27
23	Відхилення висотних позначок осі земляного полотна	3,59

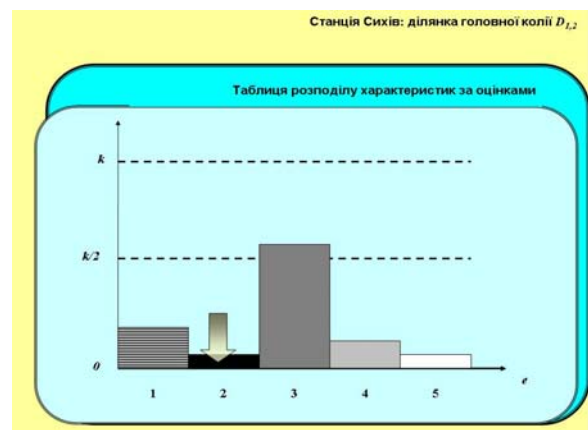


Рис. 3. Діаграма розподілу характеристик ділянки головної колії станції за значеннями оцінок

Рівень $C_{i,j}$ покриття оцінками елементарної ділянки $D_{i,j}$, який враховує не лише кількість

МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ

оцінених характеристик, а і їх пріоритетність, визначаємо за співвідношенням

$$C_{i,j} = 100 \% \times \sum_{k=1}^{K_{i,j}} \delta_{i,j}^k \rho_{i,j}^k / \sum_{k=1}^{K_{i,j}} \rho_{i,j}^k, \quad (3)$$

тобто при однаковій кількості оцінених характеристик, рівень покриття оцінками буде вищим для набору характеристик з вищим сумарним пріоритетом. Одержавши таким чином набір оцінок елементарних ділянок, визначаємо агреговану оцінку колії D_i та рівень її покриття оцінками:

$$E_i = \sum_{j=1}^{N_i} \rho_{i,j} E_{i,j} / \sum_{j=1}^{N_i} \rho_{i,j}, \quad (4)$$

$$C_i = \sum_{j=1}^{N_i} \rho_{i,j} C_{i,j} / \sum_{j=1}^{N_i} \rho_{i,j}, \quad (5)$$

де $\rho_{i,j}$ – вагові коефіцієнти, які визначають пріоритетність ділянок $D_{i,j}$, $j = \overline{1, N_i}$, колії D_i , $i = \overline{1, N}$.

На підставі набору оцінок усіх колій визначаємо агреговану оцінку колійного розвитку станції та рівень її покриття оцінками загалом:

$$E = \sum_{i=1}^N \rho_i E_i / \sum_{i=1}^N \rho_i, \quad (6)$$

$$C = \sum_{i=1}^N \rho_i C_i / \sum_{i=1}^N \rho_i, \quad (7)$$

де ρ_i – вагові коефіцієнти, які визначають пріоритетність колій D_i , $i = \overline{1, N}$, станції.

Короткострокове прогнозування стану окремих об'єктів інфраструктури станції здійснюємо методом екстраполяції, використовуючи передісторію оцінок характеристик її елементів, отриманих за співвідношеннями (1)–(5). Довгострокове прогнозування виконуємо, використовуючи апарат часових рядів [11]. Результати прогнозування дозволяють передбачати потенційні ризики, матеріальні та фінансові витрати, необхідні для їх усунення або вчасної профілактики.

Оцінювання якості функціонування станції. Очевидно, що відмінний стан інфраструктури

загалом не гарантує високої ефективності роботи станції. Забезпечення станцією надійного та безпечного руху поїздів згідно з визначеним графіком залежить від ефективності виконання операцій, передбачених технологічним процесом роботи станції.

Затримка поїзда, яка виникла внаслідок незадовільної роботи однієї станції, на іншій станції може спричинити відхилення від графіка руху вже кількох поїздів. З подальшим рухом цих поїздів відхилення від графіка можуть зрости настільки, що це призведе до серйозних збоїв у роботі окремих ліній. Затримка поїзда на станції може бути спричинена такими обставинами, як незадовільний стан інфраструктури станції, неефективна організація її роботи, незадовільний стан поїзда, неможливість відправлення поїзда у зв'язку з тим, що наступний у напрямку руху міжстанційний перегін займають інші поїзди тощо. Серед перерахованих вище обставин лише перша та друга стосуються безпосередньо організації роботи станції.

Оцінювання якості функціонування станції здійснюється на основі порівняння реального часу операцій, що виконуються з поїздом, із нормативним часом, встановленим технологічним процесом її роботи. Основною метою такого оцінювання є визначення чинників, які призводять до відхилень від графіка руху. Оскільки частина операцій із поїздами виконується паралельно, то затримка однієї з них може не вплинути на графік руху поїзда. Проте постійні затримки у виконанні окремих операцій свідчать про недоліки у роботі станції.

Позначимо t_n^c – час прибуття поїзда P на станцію C згідно з графіком; t_n^p – реальний час його прибуття; t_g^c – час відправлення поїзда P зі станції C згідно з графіком; t_g^p – реальний час його відправлення. Нехай $\mathbf{O} = \{O_n\}_{n=1}^N$ – множина операцій, які необхідно виконати над поїздом P на станції C згідно з технологічним процесом її роботи, $\mathbf{O}_{N_i} = \{O_{n_1}, O_{n_2}, \dots, O_{n_i}\}$ – підмножини операцій, які необхідно виконувати послідовно, наприклад відцеплення-прицеплення вагонів, $\mathbf{O}_{N_i} \subset \mathbf{O}$, $\sum_{i=1}^I N_i = N$.

МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ

Підмножину операцій \mathbf{O}_{N_i} , які повинні виконуватися послідовно, надалі називатимемо послідовністю операцій. Операції з різних підмножин \mathbf{O}_{N_i} , $i = \overline{1, I}$, які містять принаймні по одному елементу, можуть виконуватися паралельно, наприклад висадка-посадка пасажирів та видача-прийом пошти. Операції прибуття поїзда P на станцію C та його відправлення зі станції включатимемо в послідовність \mathbf{O}_{N_i} , яку вважатимемо основною. Наприклад, для поїзда, який проходить через станцію без зупинки, послідовність \mathbf{O}_{N_i} включатиме в себе операції прибуття, проходження через станцію та відправлення. Отже, множина \mathbf{O} не може бути порожньою. Природно, що сукупності операцій, які виконуються з поїздами різних типів (вантажними, пасажирськими, приміськими тощо) на станціях різних категорій можуть суттєво відрізнитися. Позначимо $\tau^c = \{\tau^c(O_n)\}_{n=0}^{N+1}$, де $\tau^c(O_n)$ – час виконання операції O_n згідно з графіком; $\tau^{\min} = \{\tau^{\min}(O_n)\}_{n=0}^{N+1}$, $\tau^{\min}(O_n)$ – мінімально допустимий час виконання операції O_n ; $\tau^p = \{\tau^p(O_n)\}_{n=0}^{N+1}$, $\tau^p(O_n)$ – реальний час виконання операції O_n . Позначимо $T_{PC}^c = t_g^c - t_n^c$ – час обробки поїзда P на станції C згідно з графіком; T_{PC}^{\min} – мінімально допустимий час обробки поїзда P на станції C , який передбачає виконання всіх необхідних операцій; $T_{PC}^p = t_g^p - t_n^p$ – реальний час обробки поїзда P на станції C . Природним є обмеження

$$T_{PC}^{\min} \leq \sum_{n_1, n_2, \dots, n_i} \tau^p(O_n) \leq T_{PC}^c, \quad i = \overline{1, I}.$$

Оцінювання якості роботи станції повинно виконуватися без врахування попередніх затримок поїзда, які сталися за незалежних від цієї станції причин.

$$\text{Позначимо} \quad \tau^{\min}(\mathbf{O}_{N_i}) = \sum_{n_1, n_2, \dots, n_i} \tau^{\min}(O_n), \\ \tau^c(\mathbf{O}_{N_i}) = \sum_{n_1, n_2, \dots, n_i} \tau^c(O_n), \quad \tau^p(\mathbf{O}_{N_i}) = \sum_{n_1, n_2, \dots, n_i} \tau^p(O_n).$$

Вважаємо, що оцінка $e_{PC}(\mathbf{O}_{N_i})$ якості виконання послідовності операцій \mathbf{O}_{N_i} реальної обробки поїзда P на станції C дорівнює:

$$5, \text{ якщо } \tau^p(\mathbf{O}_{N_i}) = \tau^{\min}(\mathbf{O}_{N_i}); \\ 4 + (\tau^p(\mathbf{O}_{N_i}) - \tau^c(\mathbf{O}_{N_i})) / (\tau^{\min}(\mathbf{O}_{N_i}) - \tau^c(\mathbf{O}_{N_i})), \\ \text{якщо } \tau^{\min}(\mathbf{O}_{N_i}) < \tau^p(\mathbf{O}_{N_i}) \leq \tau^c(\mathbf{O}_{N_i}); \\ 3 + (\tau^p(\mathbf{O}_{N_i}) - T_{PC}^c) / (\tau^c(\mathbf{O}_{N_i}) - T_{PC}^c), \quad \text{якщо} \\ \tau^c(\mathbf{O}_{N_i}) < \tau^p(\mathbf{O}_{N_i}) \leq T_{PC}^c; \\ 2, \text{ якщо } \tau^p(\mathbf{O}_{N_i}) > T_{PC}^c, \quad i = \overline{1, I}.$$

Для знаходження оцінки $e_{PC}(O_n)$ якості виконання окремої операції з послідовності \mathbf{O}_{N_i} використовуємо аналогічний підхід. Вважаємо, що $e_{PC}(O_n)$ дорівнює:

$$5, \text{ якщо } \tau^p(O_n) = \tau^{\min}(O_n); \\ 4 + (\tau^p(O_n) - \tau^c(O_n)) / (\tau^{\min}(O_n) - \tau^c(O_n)), \\ \text{якщо } \tau^{\min}(O_n) < \tau^p(O_n) \leq \tau^c(O_n); \\ 3 + (\tau^p(O_n) - T_{PC}^c) / (\tau^c(O_n) - T_{PC}^c), \quad \text{якщо} \\ \tau^p(O_n) : \tau^c(\mathbf{O}_{N_i}) < \tau^p(\mathbf{O}_{N_i}) \leq T_{PC}^c, \quad O_n \in \mathbf{O}_{N_i}; \\ 2, \text{ якщо } \tau^p(O_n) : \tau^p(\mathbf{O}_{N_i}) > T_{PC}^c, \quad O_n \in \mathbf{O}_{N_i}, \\ n = \overline{1, N_i} \quad i = \overline{1, I}.$$

Останні дві оцінки означають, що тривалість операції $O_n \in \mathbf{O}_{N_i}$ є такою, що час виконання послідовності \mathbf{O}_{N_i} може наблизитися до часу T_{PC}^c або перевищити його.

Загалом перерозподіл часу виконання окремих операцій в межах послідовності \mathbf{O}_{N_i} може змінюватись та залежати від реальної тривалості кожної з них. Так, кількість пасажирів приміських поїздів під час посадки-висадки може змінюватись залежно від сезону, дня тижня (робочий або вихідний), часу та напрямку руху поїзда, що прибуває, тощо. Однак, якщо на станції C при обробці певного типу поїздів виконання окремої операції регулярно оцінюється «незадовільно», то слід провести ретельний аналіз причин формування такого висновку. Наприклад, причинами низької оцінки виконання операцій відчеплення-причеплення можуть бути недостатність чи поганий технічний стан маневрових засобів або низька кваліфікація персоналу, а для операцій посадки-висадки пасажирів – незадовільний стан або довжина посадкових платформ.

Якість обробки поїзда P на станції C визначаємо за співвідношенням

МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ

$$E_{PC} = \sum_{i=1}^I \rho_i e_{PC}(\mathbf{O}_{N_i}) / \sum_{i=1}^I \rho_i, \quad (8)$$

де ρ_i – вагові коефіцієнти, які визначають пріоритетність послідовності операцій \mathbf{O}_{N_i} , $i = \overline{1, I}$. Результати такого оцінювання допоможуть удосконалити графік руху поїзда та процес його обробки, скоротивши чи подовживши час його перебування на станції.

Звичайно, якість обробки поїзда P не може визначати якість роботи станції загалом, оскільки його затримка може бути викликана незалежними від станції обставинами. Більш обґрунтований висновок ми можемо сформулювати на підставі аналізу процесу обслуговування поїздів під час K тестових досліджень, які виконувались протягом періоду планового огляду роботи станції. Нехай T_0 – мінімальний період часу, який враховує циклічність руху поїзда P через станцію C . Оцінимо якість його обробки протягом K періодів T_0 за співвідношенням

$$E_{PC}^K = \sum_{k=1}^K E_{PC}^k / K, \quad (9)$$

де E_{PC}^k – оцінка якості обробки поїзда P під час k -го періоду T_0 , $k = \overline{1, K}$, обчислена за співвідношенням (8). Зазначимо, що екстраполяція на підставі знання передісторії значень послідовності оцінок E_{PC}^k , одержаних під час попередніх планових досліджень, дозволяє прогнозувати якість обробки окремого поїзда на короткострокову перспективу, а застосування апарату часових рядів – на довгострокову. Якщо внаслідок цього спостерігається зниження оцінок, то це може свідчити не лише про погіршення якості роботи станції, але й про погіршення стану складу поїзда, що нерідко трапляється у випадку приміських пасажирських поїздів.

Нехай $\mathbf{P}^k = \{P_j^k\}_{j=1}^M$ – сукупність поїздів, які проходять за k -й період T_0 через станцію C , $E_{P^k C}$ – оцінка якості обробки поїзда P_j^k , $j = \overline{1, M}$, $k = \overline{1, K}$. Оцінка якості обробки сукупності поїздів \mathbf{P}^k обчислюється за співвідношенням

$$E_{P^k C} = \sum_{j=1}^M \rho_j E_{P_j^k C} / \sum_{j=1}^M \rho_j,$$

де ρ_j – вагові коефіцієнти, які визначають пріоритетність поїзда P_j , $j = \overline{1, M}$. Аналогічні узагальнені висновки можна одержати для послідовності операцій над поїздами окремих типів із сукупності \mathbf{P}^k , а також, у разі потреби, для конкретних операцій над поїздами. Якість функціонування станції протягом K періодів T_0 , під час яких тривало планове дослідження, визначаємо за співвідношенням

$$E_{PC}^K = \sum_{k=1}^K E_{P^k C} / K. \quad (10)$$

Значення E_{PC}^K дозволяє зробити достатньо обґрунтований висновок про ефективність роботи станції. Оцінку вигляду (8) можна формувати для окремих категорій поїздів. Екстраполяція на підставі знання передісторії значень послідовності E_{PC}^k , одержаних під час попередніх планових досліджень, дозволяє здійснювати прогностичний аналіз якості роботи станції на короткострокову перспективу загалом та локалізувати проблемні місця в обробці певних категорій поїздів.

Інтерактивне оцінювання роботи станції. Зазвичай планові огляди станції та відповідний аналіз результатів її роботи рознесені в часі. Тому задовільні висновки, одержані під час останнього дослідження можуть змінитися до наступного огляду, а стан або якість функціонування станції можуть перетнути «порог безпеки». Отже, через низку причин цей спосіб не дозволяє вчасно виявляти недоліки, які виникають «поза планом». Способом, який дає можливість здійснювати опосередкований, але достатньо інформативний та оперативний контроль, мінімізуючи при цьому вплив суб'єктивного фактора, є неперервний моніторинг дотримання графіка руху поїздів, які проходять через станцію. Ми будемо здійснювати його шляхом аналізу взаємодії таких об'єктів ЗТС, як поїзд і станція. Сам метод оцінювання називатимемо інтерактивним (від англ. «interaction» – взаємодія).

МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ

Нехай через станцію C за період T^0 проходить сукупність поїздів $\mathbf{P} = \{P_j\}_{j=1}^M$. Позначимо через $t_j^{c,e}$ час обслуговування поїзда P_j на станції C згідно з графіком; $t_j^{c,\min}$ – мінімально допустимий час його обслуговування на цій станції, який не створює ризиків для подальшого руху; $t_j^{c,p}$ – реальний час обслуговування поїзда; $t_j^{n,e}$ – час, за який поїзд P_j проходить наступний по шляху слідування міжстанційний перегін згідно з графіком; $t_j^{n,\min}$ – мінімально допустимий час його проходження (час проходження з максимальною встановленою швидкістю) цим перегонном, $j = \overline{1, M}$. Нехай T_k – період тривалістю T^0 з порядковим номером k , $k = \overline{1, K}$, $T^K = KT^0$. Будемо вважати, що оцінка $e(P_j, T_k)$ якості обслуговування поїзда P_j на станції C за період T_k дорівнює:

5, якщо $t_j^{c,p} = t_j^{c,\min}$, тобто час стоянки максимально компенсує попередні затримки руху; тут і надалі компенсація затримок доцільна і виправдана лише в тому випадку, коли вона не створює незручностей, не знижує якості обслуговування та не спричиняє загроз для пасажирів або вантажів;

$4 + (t_j^{c,p} - t_j^{c,e}) / (t_j^{c,\min} - t_j^{c,e})$, якщо $t_j^{c,p} \in (t_j^{c,\min}, t_j^{c,e}]$, тобто час стоянки частково компенсує попередні затримки руху;

$3 + (t_j^{c,e} + t_j^{n,e} - t_j^{n,\min} - t_j^{c,p}) / (t_j^{n,e} - t_j^{n,\min})$, якщо $t_j^{c,p} \in (t_j^{c,e}, t_j^{c,e} + (t_j^{n,e} - t_j^{n,\min}))$, тобто затримку поїзда на станції можна компенсувати на наступному перегоні завдяки безпечному збільшенню швидкості;

2, якщо $t_j^{c,p} < t_j^{c,e} + (t_j^{n,e} - t_j^{n,\min})$, тобто затримку на станції неможливо компенсувати на наступному перегоні, $j = \overline{1, M}$.

Зрозуміло, що оцінка затримки окремого поїзда на станції не може бути визначальним показником її стану або якості функціонування. Більш обґрунтований висновок можна зробити, оцінюючи затримки одного чи сукупності поїздів, які проходять через станцію протягом за-

даного періоду часу T^K (тиждень, місяць, квартал, рік тощо). Такі оцінки дають можливість принаймні частково локалізувати причини недоліків у її функціонуванні.

Оцінку станції за результатами проходження сукупності поїздів $\{P_j\}_{j=1}^M$ протягом періоду T_k визначаємо за співвідношенням

$$E_{\mathbf{P}}(T_k) = \sum_{j=1}^M \rho_{P_j} e(P_j, T_k) / \sum_{j=1}^M \rho_{P_j},$$

де $\{\rho_{P_j}\}_{j=1}^M$ – вектор вагових коефіцієнтів, які визначають пріоритетність поїздів із сукупності $\{P_j\}_{j=1}^M$. Обчисливши $E_{\mathbf{P}}(T_k)$ для кожного із k періодів, одержимо послідовність оцінок. Аналіз цієї послідовності дозволяє виявляти циклічні зміни якості обслуговування поїздів на станції.

Оцінку роботи станції за результатами проходження сукупності поїздів \mathbf{P} протягом часового інтервалу T^K визначаємо за співвідношенням

$$E_{\mathbf{P}}(T^K) = \sum_{k=1}^K E_{\mathbf{P}}(T_k) / K.$$

Із послідовним збільшенням T^K значення цих оцінок дозволяють відстежувати тренд та динаміку зміни якості обслуговування поїздів на станції. Якщо оцінка $e(P_j, T^K)$ обслуговування поїзда P_j на станції C за період T^K значно менша від $E_{\mathbf{P}}(T^K)$, то можна зробити висновки про наявність недоліків у графіку руху цього поїзда.

Відстежуючи динаміку поведінки агрегованих оцінок усіх рівнів, із послідовним збільшенням значення T^K ми можемо визначати тренди зміни стану та якості функціонування станції. При цьому короткострокове прогнозування, одержане внаслідок екстраполяції оцінок на підставі відомої передісторії їхніх значень, дає можливість завчасно виявити можливість переходу у найближчій перспективі через «пиріг безпеки», а, отже, організація роботи станції потребує позапланового дослідження та відповідних дій. Довгострокове прогнозування, здійснене за допомогою апарату часових рядів, до-

МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ

зволяє відстежувати сезонні зміни у функціонуванні станції та запобігати негативним тенденціям у її роботі.

З проходженням поїзда по лінії його затримки можуть послідовно накопичуватись і компенсуватись. Оцінка роботи станції залежить, зокрема, від її здатності компенсувати попередні відхилення від графіку руху поїзда. Чисельно кількість компенсацій та зусилля станції для їх реалізації відображаються дробовими частинами оцінок $e(P_j, T_k)$, які перевищують значення 4. Так, оцінка $e(P_j, T_k) = 4,68$ означає, що робота по обслуговуванню поїзда P_j під час періоду T_k була проведена достатньо ефективно, оскільки на станції не лише у визначені терміни виконали всі операції над ним, але й компенсували попередні затримки. Однак, величина компенсації (0,68) означає, що ці затримки були достатньо суттєвими. Якщо ж значення $e(P_j, T_k) < 4$, то компенсація затримки також визначається дробовою частиною оцінки і може здійснюватися на наступному по шляху слідування міжстанційному перегоні завдяки збільшенню швидкості поїзда, що не завжди є можливим із-за стану поїзда або колії на перегоні. Якщо для сукупності поїздів, які проходять по лінії протягом часового інтервалу T^k затримки загалом компенсуються на станціях, то це є опосередкованим, хоча й достатньо показовим свідченням стану поїзда або стану колії на міжстанційних перегонах. З іншого боку, якщо затримки загалом компенсуються на перегонах, то це є свідченням стану інфраструктури або ефективності роботи станцій. Якщо ж узагальнена оцінка компенсацій, яка є свідченням їх масовості, є нижчою, ніж агрегована оцінка об'єктів ЗТС, які утворюють лінію, то можна зробити обґрунтований висновок про те, що встановлений на ній графік руху поїздів є неоптимальним або чутливим до малих відхилень від графіка.

Результати

Здійснивши комплексне оцінювання кожної із станцій, які розташовані на лінії регулярного руху поїздів, ми можемо визначити ті об'єкти СГ, які потребують першочергової модернізації свого стану, організації технологічного процесу

або удосконалення встановленого графіка руху поїздів. Послідовно провівши агреговане оцінювання станційного господарства відділків, дистанцій, дирекцій, регіональних залізниць та ЗТС загалом, ми можемо визначити потенційні ризики і необхідні для їх попередження матеріальні та фінансові ресурси.

Наукова новизна та практична значимість

У роботі запропоновано удосконалення існуючого методу оцінювання елементів станційної інфраструктури. Виконане внаслідок планових і позапланових оглядів оцінювання стану та якості функціонування станції дозволяє визначити недоліки у її роботі та надати рекомендації з удосконалення технологічного процесу або доукомплектування станційного господарства необхідними технічними засобами та персоналом. Між плановими оглядами неперервний моніторинг якості функціонування станції здійснюється за допомогою методу інтерактивного оцінювання.

Запропоновану методику комплексного оцінювання можна застосовувати до структурних одиниць станційного господарства різного рівня ієрархії. Розроблене програмне забезпечення дозволяє оперативно орієнтуватися у результатах оцінювання та локалізувати виявлені недоліки.

Висновки

У роботі запропоновано методику комплексного оцінювання залізничних станцій. Під час планових оглядів використовуються методи локального та агрегованого оцінювання стану станційної інфраструктури і якості функціонування станції. Запропонований метод інтерактивного оцінювання ґрунтується на аналізі дотримання графіка руху поїздів і дозволяє здійснювати неперервний моніторинг якості функціонування станції між плановими оглядами. Для запобігання можливих ризиків на підставі послідовності оцінок, одержаних під час попередніх оглядів, використовується метод прогностичного аналізу.

МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- Бубнова, Г. В. Ситуационный анализ работы железнодорожной технической станции / Г. В. Бубнова // Российское предпринимательство. – 2010. – № 12–2. – С. 114–119.
- Буянова, В. К. Система организации вагонопотоков / В. К. Буянова, А. И. Сметанин, Е. В. Архангельский. – М. : Транспорт, 1988. – 223 с.
- Замышляев, А. М. Повышение безопасности движения на основе комплексной оценки состояния инфраструктуры железнодорожной станции : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.22.08 / Замышляев Алексей Михайлович ; Московский гос. ун-т путей сообщ. – М., 2005. – 23 с.
- Зартдинов, Д. Р. Эксплуатационная надежность железнодорожной станции и ее определяющие факторы / Д. Р. Зартдинов, Е. Н. Тимухина // Трансп. : наука, техника, управл. – 2013. – № 1. – С. 76–79.
- Железнодорожный транспорт / под ред. Н. С. Конарева. – М. : Большая Российская энцикл., 2003. – Том 4. – 1038 с.
- Ковалев, В. И. Основы эксплуатационной работы железных дорог / В. И. Ковалев, В. А. Кудрявцев, А. П. Кузнецов. – М. : Академия, 2005. – 350 с.
- Козаченко, Д. М. Об'єктно-орієнтована модель функціонування залізничних станцій / Д. М. Козаченко // Наука та прогрес транспорту. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. – 2013. – № 4 (46). – С. 47–55.
- Кужель, А. Л. Развитие теории и практики разработки графика движения поездов / А. Л. Кужель, А. Т. Осьминин, Л. А. Осьминин // Ж-д трансп. – 2012. – № 3. – С. 6–13.
- Общий курс железных дорог : учеб. пособие / под ред. Ю. И. Ефименко. – М. : Академия, 2005. – 256 с.
- Офіційний сайт Укрзалізниці [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.uz.gov.ua>. – Назва з екрана.
- Поліщук, Д. О. Використання часових рядів для прогнозування оцінки якості функціонування складних систем / Д. О. Поліщук, М. С. Яджак // Зб. праць міжн. наук. конф. «Сучасні проблеми механіки і математики» (25-29 травня 2008). – Л., 2008. – Т. 3. – С. 38–40.
- Поліщук, Д. О. Оцінювання стану колійного господарства Укрзалізниці / Д. О. Поліщук // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. – Д., 2012. – Вип. 41. – С. 203–212.
- Сокол, Э. Н. Модель механизма железнодорожно-транспортного происшествия как совокупность связей взаимодействия его элементов / Э. Н. Сокол // Залізн. трансп. України. – 2011. – № 1. – С. 15–17.
- Сотников, Е. А. Эксплуатационная работа железных дорог (состояние, проблемы, перспективы) / Е. А. Сотников. – М. : Транспорт, 1986. – 256 с.
- Уманов, М. І. Покращення оцінки стану колії з використанням середньоквадратичних відхилень геометричних параметрів / М. І. Уманов, А. М. Патласов // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. – Д., 2012. – Вип. 40. – С. 109–114.
- Шенфельд, К. П. О показателях качества организации перевозочного процесса / К. П. Шенфельд // Ж-д трансп. – 2011. – № 3. – С. 64–67.
- Lichtberger, V. W. Kostensenkung durch Qualitätsvorrat in der Fahrweginstandhaltung / V. W. Lichtberger // Eisenbahningenieur. – 1999. – № 1. – P. 39–42.
- Polishchuk, D. About Evaluation of Complex Dynamical Systems [Електронний ресурс] / D. Polishchuk, O. Polishchuk // J. of Complex Systems. – Режим доступу: <http://www.hindawi.com/journals/jcs/2013/204304>. – Назва з екрана.
- Weart, W. Track Inspection Technology Update / W. Weart // Progressive Railroading. – 2009. – № 3. – P. 47–53.

Д. А. ПОЛИЩУК^{1*}

^{1*}Обособленное подразделение «Информационно-вычислительный центр», Государственное территориально-отраслевое объединение «Львовская железная дорога», ул. Гоголя, 1, Украина, 79000, +38 (063) 879 96 11, эл. почта d_pole@mail.ru

КОМПЛЕКСНОЕ ОЦЕНИВАНИЕ СОСТОЯНИЯ И КАЧЕСТВА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ СТАНЦИЙ

Цель. Разработка новых и совершенствование существующих методов оценки состояния и качества функционирования железнодорожных станций для повышения эффективности их работы. **Методика.** В процессе исследования использовались средства локального, прогностического, агрегированного и интерактивно-

МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ

го анализів состояния, а также качества функционирования элементов станционной інфраструктури и обработки поездов на станциях. Локальные оценки получают на основе результатов плановых и внеплановых осмотров. На основе набора локальных оценок строятся агрегированные оценки различной степени общности. Метод интерактивного оценивания основывается на анализе соблюдения графика движения поездов. Метод прогностического анализа использует предысторию оценок, полученных во время предыдущих обзоров. **Результаты.** Вследствие проведенных исследований предложен комплексный детерминистический подход к оценке станционного хозяйства Укрзалізнички. Этот подход позволяет установить достаточно полную и объективную картину состояния, качества функционирования и взаимодействия объектов станционного хозяйства. **Научная новизна.** Усовершенствован существующий метод оценки элементов станционной инфраструктуры. Предложенный метод интерактивного оценивания позволяет осуществлять непрерывный мониторинг качества функционирования станции между плановыми осмотрами. **Практическая значимость.** Предложенную методику комплексной оценки можно применять к структурным единицам станционного хозяйства разного уровня иерархии. Разработанное программное обеспечение позволяет оперативно ориентироваться в результатах оценки и локализовать выявленные недостатки.

Ключевые слова: станционное хозяйство; качество функционирования; оценивание; прогнозирование; агрегация; непрерывный мониторинг

D. O. POLISHCHUK^{1*}

^{1*}Separated Department «Information and Computer Center», State Territorial-Sectoral Association «Lviv Railway», Hoholia St, 1, Lviv, Ukraine, 79000, +38 (063) 879 96 11, e-mail d_pole@mail.ru

COMPLEX EVALUATION OF THE STATE AND QUALITY OF RAILWAY STATION OPERATING

Purpose. Improvement of existing methods for evaluation of condition and functioning quality of railway stations and development of the new ones in order to improve operation of railway stations. **Methodology.** During research the local, prognostic, aggregated and interactive analyses of condition and functioning quality of station infrastructure elements and train processing at the stations were applied. Local evaluations are obtained as the result of scheduled and off-schedule surveys. On the basis of local evaluations, aggregated evaluations of different generalization level are applied. Method for interactive evaluation is based on the analysis of compliance with train tables. Method of prognostic analysis applies the prehistory of evaluations obtained during previous surveys. **Findings.** Resulting from researches held, the complex determinative approach was proposed for evaluation of station sector of Ukrainian Railways. This approach allows determining comprehensive and objective notion about station, functioning quality and interaction between objects of station sector. **Originality.** Existing method for station infrastructure elements evaluation was improved. Proposed method for interactive evaluation allows performing continuous observation of station functioning quality between scheduled surveys. **Practical value.** Proposed methodology for complex evaluation may be applied to structural units of station sector of different hierarchy levels. Software developed allows navigating promptly over evaluation results and localizing drawbacks discovered.

Keywords: station sector; functioning quality; evaluation; prognostication; aggregation; continuous monitoring

REFERENCES

1. Bubnova G.V. Situatsionnyy analiz raboty zheleznodorozhnoy tekhnicheskoy stantsii [Situational analysis of railway train station]. *Rossiyskoye predprinimatelstvo – Russian Entrepreneurship*, 2010, no. 12-2, pp. 114-119.
2. Buyanova V.K., Smetanin A.I., Arkhangelskiy E.V. *Sistema organizatsii vagonopotokov* [System of car traffic organization]. Moscow, Transport Publ., 1988. 223 p.
3. Zamyshlyayev A. M. *Povysheniye bezopasnosti dvizheniya na osnove kompleksnoy otsenki sostoyaniya infrashtukturny zheleznodorozhnoy stantsii*. Avtoreferat Diss. [Improving traffic safety on the basis of complex evaluation of condition of railway station infrastructure. Author's abstract]. Moscow, 2005. 23 p.
4. Zartdinov D.R., Timukhina E.N. *Ekspluatatsionnaya nadezhnost zheleznodorozhnoy stantsii i yeye opredelyayushchiye faktory* [The operational reliability of the railway station and its determining factors]. *Transport: nauka, tekhnika, upravleniye – Transport: science, technology, management*, 2013, no. 1, pp. 76-79.

МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ

5. Konarev N.S. *Zheleznodorozhnyy transport* [Railway transport]. Moscow, Bolshaya Rossiyskaya entsiklopediya Publ., 2003. 1038 p.
6. Kovalev V.I., Kudryavtsev V.A., Kuznetsov A.P. *Osnovy ekspluatatsionnoy raboty zheleznykh dorog* [Fundamentals of operational performance of railways]. Moscow, Akademiya Publ., 2005. 350 p.
7. Kozachenko D.M. Obiektno-orientovana model funktsionuvannya zaliznychnykh stantsii [Object-oriented model for railway stations operations]. *Nauka ta prohres transportu. Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu – Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport*, 2013, no. 4 (46), pp. 47-55.
8. Kuzhel A.L., Osminin A.T., Osminin L.A. Razvitiye teorii i praktiki razrabotki grafika dvizheniya poyezdov [Development of theory and practice of train schedule elaboration]. *Zheleznodorozhnyy transport – Railway transport*, 2012, no. 3, pp. 6-13.
9. Yefimenko Yu. I., Uzdin M. M., Kovalev V. I. *Obshchiy kurs zheleznykh dorog* [General course of railways]. Moscow, Akademiya Publ., 2005. 256 p.
10. *Ofitsiyni sait Ukrzaliznytsi* (Official website of Ukrainian Railway). Available at: <http://www.uz.gov.ua> (Accessed 20 November 2013).
11. Polishchuk D.O. Otsiniuvannya stanu koliinoho hospodarstva Ukrzaliznytsi [Evaluation of Ukrainian Railway equipment condition]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport], 2012, issue 41, pp. 203-212.
12. Polishchuk D.O., Yadzhak M.S. Vykorystannya chasovykh riadiv dlia prohnozuvannya otsinky yakosti funktsionuvannya skladnykh system [Usage of time series for forecasting of evaluation of operation quality of complex systems]. *Zbirnyk prats mizhnarodnoi naukovoï konferentsii «Suchasni problemy mekhaniky i matematyky»* [Proc. of the Int. Sci. Conf. «Modern Problems of Mathematics and Mechanics»]. Lviv, 2008, issue 3, pp. 38-40.
13. Sokol E.N. Model mekhanizma zheleznodorozhno-transportnogo proisshestiya kak sovokupnost svyazey vzaimodeystviya yego elementov [Model of railroad accident in the form of set of interaction connections between its elements]. *Zaliznychnyi transport Ukrainy – Railway Transport of Ukraine*, 2011, no. 1, pp. 15-17.
14. Sotnikov E.A. *Ekspluatatsionnaya rabota zheleznykh dorog (sostoyaniye, problemy, perspektivy)* [Operational performance of railways (condition, problems and prospects)]. Moscow, Transport Publ., 1986. 256 p.
15. Umanov M.I., Patlasov A.M. Pokrashchennia otsinky stanu kolii z vykorystanniam serednokvadratnykh vidkhylen heometrychnykh parametriv [Improvement of track condition with usage of mean-square deviations of geometric parameters]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport], 2012, issue 40, pp. 109-114.
16. Shenfeld K.P. O pokazatelyakh kachestva organizatsii perevozhnogo protsessa [About quality indicators of traffic organization]. *Zheleznodorozhnyy transport – Railway Transport*, 2011, no. 3, pp. 64-67.
17. Lichtberger B.W. Kostensenkung durch Qualitätsvorrat in der Fahrweginstandhaltung. *Eisenbahningenieur*, 1999, no. 1, pp. 39-42.
18. Polishchuk D., Polishchuk O. About Evaluation of Complex Dynamical Systems. *Journal of Complex Systems*. Available at: <http://www.hindawi.com/journals/jcs/2013/204304/> (Accessed 20 November 2013).
19. Weart W. Track Inspection Technology Update. *Progressive Railroading*, 2009, no. 3, pp. 47-53.

Стаття рекомендована до друку д.т.н., проф. В. І. Шинкаренком (Україна); д.фіз.-мат.н. М. С. Яджакком (Україна)

Надійшла до редколегії 06.11.2013

Прийнята до друку 08.02.2014