



УДК 519.6

МОДЕЛЬ ЛОКАЛЬНОГО ОЦІНЮВАННЯ СТАНУ ЕЛЕМЕНТІВ КОЛІЙНОГО ГОСПОДАРСТВА УКРЗАЛІЗНИЦІ

Поліщук Д.О.

ВП ІОЦ ДТГО «Львівська залізниця», iocpsdmytro@railway.lviv.ua

Формулювання проблеми. Колійне господарство Укрзалізниці (КГ УЗ) – складна динамічна система, стан якої змінюється з часом під впливом багатьох зовнішніх та внутрішніх чинників, зокрема кліматичних та геологічних впливів, ремонтів, постійних навантажень від поїздів тощо. При цьому всі елементи колії за міцністю, стійкістю та своїм рівнем придатності повинні забезпечувати безпечний та плавний рух пасажирських і вантажних поїздів з найбільшими встановленими для даної ділянки швидкостями, а також мати достатній резерв для подальшого збільшення швидкості та вантажонапруженості лінії. Звідси випливає актуальність проблеми неперервного моніторингу стану КГ УЗ для своєчасного виявлення процесів, які можуть призвести до негативних наслідків, та оперативного реагування на них.

Розглядаємо ділянку колії як сукупність компонент: нижня будова колії (НБК) та верхня будова колії (ВБК) [1]. Кожна з цих компонент має свій набір складових: НБК включає земляне полотно (насипи, виїмки тощо) та штучні споруди (зокрема мости і тунелі); до ВБК відносяться баластовий шар, шпали і рейки. Для кожної із вищенаведених складових формується набір характеристик, які описують їх стан на визначеній ділянці колії. Наприклад, для земляного полотна – це ширина основної площадки, крутизна відкосів насипу; для шпал – відстань між звичайними та стиковими шпалами; для рейок – ширина колії, висота рейкових ниток, просідання рейки під час руху поїзда; для баласту – це товщина баластового шару, його забруднення тощо. Всього таких характеристик є понад тридцять і кожна з них має задовольняти певним нормативним допуском. Останні можуть відрізнятися залежно від просторових (горизонтальна чи похила, пряма чи крива), конструктивних (категорія колії, одно- чи двоколійна, ланкова чи безстикова), геологічних (рельєф місцевості) та інших характеристик даної ділянки колії. Наприклад, на прямих ділянках нормативна ширина колії складає 1520 мм, тоді як на кривих, залежно від радіусу, зростає до 1535 мм.

Для оцінки пропонується розбити КГ УЗ на підсистеми нижчого рівня згідно з територіально-ієрархічним принципом системи управління. Зокрема, Укрзалізниця складається із 6 регіональних залізниць, кожна з яких поділяється на певну кількість підсистем нижчого рівня – дирекцій залізничних перевезень. Останні складаються з полігонів дистанцій колійного

господарства, тобто сукупності станцій та ділянок колії, які їх з'єднують [2]. З полігонів дистанцій КГ УЗ виокремлюємо відповідні мережі колій та станцій, що входять у зони відповідальності неподільних підрозділів системи управління, які й забезпечують їх відповідний стан. Кінцевим рівнем розбиття колійного господарства є елементарні ділянки колії, що володіють властивістю однорідності на всій своїй довжині, тобто відрізняються набором характеристик чи нормативними допусками, розділяються штучними спорудами різних типів та не перевищують заданої довжини $S_{\max} = 1000$ м. Кількість даних, які описують стан КГ УЗ протяжністю понад 22 тис. км, є надзвичайно великою і потребує розробки ефективних методів та алгоритмів їх оперативної обробки та аналізу.

Локальне оцінювання елементів КГ УЗ. Для спрощення викладу опис методу проведемо для окремої характеристики складової компоненти колії, а саме, міжрейкової відстані вздовж прямої горизонтальної ділянки. Нехай $f(s)$ – одержана внаслідок експериментальних вимірювань характеристика колії, де $s \in [0, S]$; $S \leq S_{\max}$; $G = \{f(s) : f_{\min} \leq f(s) \leq f_{\max}, s \in [0, S]\}$ – область допустимих значень кусково-неперервної функції $f(s)$ і f_{norm} – її нормативне значення, що належить цій області. У даному випадку $f_{\min} < f_{norm} < f_{\max}$. Введемо допоміжну функцію

$$\alpha(s) = \begin{cases} (f(s) - f_{norm}) / f^+, & \text{якщо } f(s) > f_{norm}, \\ (f(s) - f_{norm}) / f^-, & \text{якщо } f(s) < f_{norm}, \end{cases}$$

де $f^+ = f_{\max} - f_{norm}$, $f^- = f_{norm} - f_{\min}$, $s \in [0, S]$.

За параметри оцінки беремо значення функціоналів

$$c_0 = \max_{i=1, N} |\alpha(s_i)|, \quad c_1 = \max_{i=1, N-1} |(\alpha(s_{i+1}) - \alpha(s_i)) / d_r| \quad \text{і } l = \left[\sum_{i=1}^N \alpha^2(s_i) d_r \right]^{1/2},$$

де $s_i = d_r i$, $i = \overline{1, N}$; $N = S / d_r$. Тут d_r – довжина рейки, що дорівнює 25 м.

Легко бачити, що значення c_0 , c_1 і l є дискретними аналогами норми функції $\alpha(s)$, $s \in [0, S]$, у функціональних просторах $C_0[0, S]$, $C_1[0, S]$ і $L_2[0, S]$ відповідно. Значення c_0 , c_1 дозволяють відслідковувати окремі піки та збурення у поведінці оцінюваної характеристики чи її похідної (остання дає можливість визначати місця потенційних розривів функції $f(s)$), а значення l – обчислити величину її усередненого відхилення від f_{norm} .

На залізниці прийнято [1] визначати стан колії за допомогою понятійної шкали оцінок («незадовільно», «задовільно», «добре» та «відмінно»). Межі областей значень характеристики $f(s)$, що відповідають значенням цієї шкали оцінок, встановлюються експертами з використанням величин γ_1 , γ_2 , ε_1 ,

ε_2 , де $\gamma_1 \in [f_{\min}, f_{\text{norm}}]$, $\gamma_2 \in [f_{\text{norm}}, f_{\text{max}}]$, $\varepsilon_1 \in [0, \gamma_1 - f_{\min}]$, $\varepsilon_2 \in [0, f_{\text{max}} - \gamma_2]$.

Визначимо спосіб співставлення значенням функціоналів c_0 , c_1 і l , обчислених на підставі експериментальних значень поведінки характеристики $f(s)$, $s \in [0, S]$, відповідних понятійних оцінок E_{c_0} , E_{c_1} і E_l .

Будемо вважати оцінку $E_{c_0}(E_{c_1}, E_l)$ характеристики $f(s)$ за параметром $c_0(c_1, l)$ «відмінною» ($E_{c_0} = 5$ ($E_{c_1} = 5, E_l = 5$)), якщо $c_0 = 0$ ($c_1 = 0, l = 0$), тобто значення характеристики $f(s) = f_{\text{norm}}$ на частині $[0, S]$ (відрізок $[0, s_3]$ на рис. 1).

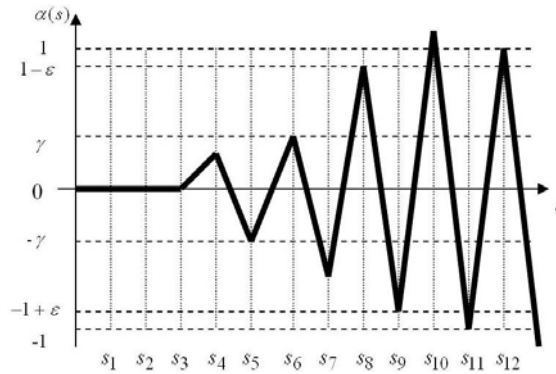


Рис. 1

Нехай $[\gamma_1, \gamma_2] \subset [f_{\min}, f_{\text{max}}]$ – область, яка згідно з нормативним показником відповідає оцінці «добре» для характеристики $f(s)$, $s \in [0, S]$. Будемо вважати оцінку для цієї характеристики $E_{c_0}(E_{c_1}, E_l)$ за параметром $c_0(c_1, l)$ «доброю» ($E_{c_0} = 4$ ($E_{c_1} = 4, E_l = 4$)), напівінтервал (s_3, s_6) на рис. 1), якщо $0 < c_0 \leq \gamma$ ($0 < c_1 \leq 2\gamma/d_r$, $0 < l \leq \gamma(Nd_r)^{1/2}$), де $\gamma = \min(\gamma^+ / f^+, \gamma^- / f^-)$, $\gamma^+ = \gamma_2 - f_{\text{norm}}$, $\gamma^- = \gamma_1 - f_{\text{norm}}$.

Оцінку $E_{c_0}(E_{c_1}, E_l)$ характеристики $f(s)$ за параметром $c_0(c_1, l)$ будемо вважати «задовільною» ($E_{c_0} = 3$ ($E_{c_1} = 3, E_l = 3$)), напівінтервал (s_6, s_9) на рис. 1), якщо $\gamma < c_0 \leq 1 - \varepsilon$ ($2\gamma/d_r < c_1 \leq 2(1 - \varepsilon)/d_r$, $\gamma(Nd_r)^{1/2} < l \leq (1 - \varepsilon)(Nd_r)^{1/2}$), де $\varepsilon = \max(\varepsilon_2 / f^+, \varepsilon_1 / f^-)$ і $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ – величини, які визначають міру наближення до допустимих меж поведінки характеристики $f(s)$ і дозволяють завчасно відслідкувати це наближення.

Нарешті, будемо вважати оцінку $E_{c_0} (E_{c_1}, E_l)$ характеристики $f(s)$ за параметром $c_0(c_1, l)$ «незадовільною» ($E_{c_0} = 2 (E_{c_1} = 2, E_l = 2)$, напівінтервал $(s_0, s_{12}]$ на рис. 1), якщо $c_0 > 1 - \varepsilon$ ($c_1 > 2(1 - \varepsilon) / d_r, l > (1 - \varepsilon)(Nd_r)^{1/2}$).

Узагальнену оцінку E поведінки характеристики $f(s)$ на відрізку $[0, S]$ визначатимемо за формулою

$$E = (\rho_{c_0} E_{c_0} + \rho_{c_1} E_{c_1} + \rho_l E_l) / (\rho_{c_0} + \rho_{c_1} + \rho_l),$$

де ρ_{c_0}, ρ_{c_1} і ρ_l – цілочисельні вагові коефіцієнти, які встановлюються внаслідок опитування експертів і визначають пріоритетність параметрів оцінки.

З незначними змінами запропонована процедура використовується для оцінювання поведінки інших характеристик. При цьому такими рівнями узагальнення оцінок є стан складових компонент, компонент колії на ділянці та ділянки загалом. Унаслідок послідовної агрегації оцінок [3] елементарних ділянок колії можна визначити стан підсистем КГ УЗ будь-якого рівня.

Для реалізації запропонованого методу оцінювання розробляється програмне забезпечення, яке надасть можливість на підставі експериментальних вимірювань автоматично реєструвати незадовільні ділянки колії, які потребують негайного ремонту, візуалізувати зручним для оперативного аналізу способом результати оцінки різних рівнів узагальнення, визначати стан колії згідно з фіксованим територіально-ієрархічним поділом КГ УЗ, починаючи від локальної зони відповідальності та закінчуючи Укрзалізницею загалом, або оцінити стан колії вздовж заданої залізничної лінії.

Висновки. У роботі запропоновано чітке структурування КГ УЗ з поглядом подальшого аналізу його стану для різних рівнів ієрархії. Розроблено алгоритм локального оцінювання довільної характеристики заданої складової компоненти елементарної ділянки колійного господарства згідно з прийнятою на залізниці понятійною шкалою. Розроблюване для реалізації даного алгоритму програмне забезпечення планується застосувати для оцінювання стану залізничних мереж, які лежать у зоні відповідальності конкретних підрозділів системи управління Укрзалізниці.

1. *Филиппов М.М. и др.* Железные дороги. – М.: Транспорт, 1991. – 295 с.
2. Офіційний веб-сайт Укрзалізниці: <http://www.uz.gov.ua/>.
3. *Polishchuk D., Polishchuk O., Yadzhak M.* Solution of some problems of evaluation of the complex systems: Methods // Proc. of the 15th Intern. Conf. on Automatic Control, 23–26 Sept. 2008. – Odesa: ONMA. – 2. – P. 968–971.

Секція: СУЧАСНІ ПРОБЛЕМИ МАТЕМАТИКИ
<http://www.iapmm.lviv.ua/chyt2010/materials/pc2010-02-P-25.pdf>

**LOCAL EVALUATION MODEL OF THE GROUNDWORK ELEMENTS
STATE OF THE UKRAINIAN RAILWAY**

Ukrainian railway considers as the complex dynamical system. Methods propose for local evaluation of their groundwork elements state. Software support is developing for such kinds of evaluation.