

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ФАКТОРІВ ПРИ ПЛАНУВАННІ СТРОКІВ СЛУЖБИ ТА ВИТРАТ НА ФУНКЦІОНУВАННЯ ОБ'ЄКТІВ КОЛІЙНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ

Досліджено фактори, що впливають на знос рейок колії, виділені найбільш вагомі з них та запропоновано методику розрахунку строків експлуатації та величин зносу рейок під впливом цих факторів, що дозволить більш ефективно планувати витрати на функціонування об'єктів колійної інфраструктури. Ключові слова: витрати, колія, планування.

Исследованы факторы, влияющие на износ рельсов, выделены наиболее значимые из них, предложена методика расчета сроков эксплуатации и величин износа рельсов под влиянием этих факторов, что позволит более эффективно планировать расходы на функционирование объектов путевой инфраструктуры. Ключевые слова: расходы, пути, планирование.

The Explored factors, influencing upon wear-out rail, are chosen the most significant of them, is offered methods of the calculation of the periods to usages and values of the wear-out rail under influence these factor that will allow more effectively plan the costs on operation object travel infrastructure . Key words: costs, ways, planning.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок з важливими науковими чи практичними завданнями

Дослідники виділяють наступні види дефектів рейок: вертикальний знос, бічний знос, контактнo-втомлювальне руйнування.

Вертикальний знос спостерігається на всіх ділянках залізничної колії. Слід зазначити, що за даними численних досліджень середні величини вертикального зносу рейок як у прямих, так і в кривих різних радіусів невеликі. Поряд із цим відзначимо, що значний вертикальний знос рейок спостерігається на затяжних підйомах, де при проході поїзда реалізується висока сила тяги. На цих ділянках, внаслідок своєї великої величини, вертикальний знос є чинником, що визначає термін служби й необхідність призначення суцільної заміни рейок на цій ділянці.

Бічний знос характерний для кривих ділянок колії. Найбільший вплив на величину бічного зносу рейок робить кривизна колії - зі збільшенням кривизни колії бічний знос інтенсивно зростає. Наприклад, бічний знос головки рейки в кривих радіусом 400 м відбувається в 2,5 рази інтенсивніше, ніж у кривих радіусом 800м.

У цьому випадку, тобто для кривих ділянок колії, найдоцільніше було б визначати величину приведеного зносу, тобто суму вертикального й приведеного до нього бічного зносу, тому що в цьому випадку ми маємо знос двох видів: вертикальний і інтенсивний бічний. Наведений знос не повинен перевищувати величину граничного припустимого вертикального зносу на прямій ділянці колії.

Аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано вирішення даної проблеми і на які спирається автор

Узагальнюючи дані досліджень [1], діючі нормативи [2] та досвід експлуатації [3] і беручи до уваги найбільшу інтенсивність бічного зносу рейок у кривих малих радіусів $R \leq 400$ м, можна зробити висновок, що приведений знос рейок (при інтенсивному бічному) є чинником, що обмежує термін служби рейок і необхідність призначення їхньої суцільної заміни тільки в кривих малих радіусів, $R \leq 400$ м.

Контактно-втомлювальні руйнування рейок (злами, викрашування й т.д.), тобто руйнування, обумовлені високими контактними напруженнями, спостерігаються на всіх ділянках колії. Такий вид дефектів в основному визначає величину одиночного вилучення рейок з колії.

Накопичення контактно-втомлювального руйнування й, відповідно, одиночного вилучення рейок відбувається нерівномірно. Починаючи з одиничних випадків, на певній стадії служби рейок воно досягає таких значних розмірів, при яких забезпечення безпеки руху поїздів і нормального поточного утримання колії стає вкрай складним. Така гранична величина частоти одиночного вилучення рейок стає причиною виконання робіт з їхньої суцільної заміни. У цьому випадку величина одиночного вилучення рейок внаслідок контактно-втомлювального руйнування визначає міжремонтні строки залізничної колії і є критерієм призначення суцільної заміни рейок.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, яким присвячується означена стаття

У підсумку, визначаємо, що факторами, які встановлюють необхідність суцільної заміни рейок, є:

1. на прямих ділянках колії й у кривих $R > 400$ м - гранична величина одиночного вилучення рейок внаслідок контактно-втомлювального руйнування;
2. на зтяжних підйомах - вертикальний знос рейок;
3. у кривих $R \leq 400$ м - приведений знос рейок.

При проведенні техніко-економічного дослідження для «середніх» експлуатаційних умов Укрзалізниці, внаслідок того, що зтяжні підйоми й криві радіуса $R \leq 400$ м становлять незначну частину довжини залізничної колії, вважаємо за можливе в якості єдиного фактору, що встановлює періодичність суцільної заміни рейок на всіх ділянках колії, прийняти одиночне вилучення рейок внаслідок контактно-втомлювального руйнування.

У випадку проведення техніко-економічного дослідження для конкретної ділянки залізничної колії, доцільно враховувати всі вищезгадані фактори, що встановлюють необхідність суцільної заміни рейок.

Формулювання цілей статті (постановка завдання)

Цілями даної статті є дослідження найбільш вагомих факторів, що впливають на знос рейок колії, розроблення методики розрахунку строків експлуатації та величин зносу рейок під впливом цих факторів, для більш

ефективного планування витрат на функціонування об'єктів колійної інфраструктури.

Виклад основного матеріалу дослідження з обґрунтуванням отриманих наукових результатів

Встановлення точної функціональної залежності між величиною одиночного вилучення рейок і численними експлуатаційними факторами у цей час ускладнено внаслідок недостатнього обсягу експериментальних даних. Це визначає зокрема істотні складності в дослідженні впливу динамічних якостей рухомого складу на роботу залізничної колії й проведенні економічної оцінки заходів щодо вдосконалювання динаміки рухомого складу. Для подальшого техніко-економічного дослідження пропонується наступний спосіб рішення цього завдання: скористаємося визначенням величини зміни одиночного вилучення рейок залежно від зміни деяких величин, що повніше всього розкривають процес експлуатації залізничної колії.

Так, запишемо, що $\xi = f(k, P, T)$,

де ξ - величина одиночного вилучення рейок, од./ км-рік, є функцією величин;

P - максимальний діючий динамічний вплив на рейку від колеса, т;

T - пропущений по залізничній колії за встановлений період часу (строк між капітальними ремонтами) тоннаж, млн. т;

k - перехідний коефіцієнт, величина й розмірність якого визначається переходом від P і T к ξ .

Для n -го й деякого i го випадку експлуатації залізничної колії величина одиночного вилучення рейок визначається

$$\xi_n = f(k, P_n, T_n);$$

$$\xi_i = f(k, P_i, T_i).$$

Співвідношенням величин ξ_i і ξ_n визначить зміна одиночного вилучення рейок (α_p) в i -м положенні в порівнянні з n - м.

$$\alpha_p = \frac{\xi_i}{\xi_n} = \frac{f(k, P_i, T_i)}{f(k, P_n, T_n)}.$$

Якщо функцію ξ визначати у вигляді $\xi = k \cdot P^a \cdot T^c$, то величина α_p буде мати таке вираження

$$\alpha_p = \left(\frac{P_i}{P_n}\right)^a \cdot \left(\frac{T_i}{T_n}\right)^c.$$

Для визначення a й c скористаємося експериментальними даними. При проході по ділянці того самого тоннажу вилучення рейок по одиночному виході збільшується в 1,7 рази при підвищенні навантаження на вісь в 1,5 рази.

Звідси

$$\frac{T_i}{T_n} = 1 \quad \text{та} \quad \frac{P_i}{P_n} = 1,5 \quad \alpha_p = 1,7 \quad 1,7 = (1,5)^a, \text{ тому } a = 1,33.$$

Аналогічно визначимо c . У першому наближенні для рейок всіх типів приймаємо $c=1,0$. Звідси, зміна величини одиночного вилучення рейок залежно від P і T визначиться з наступної формули

$$\alpha_p = \left(\frac{P_i}{P_n}\right)^{1,33} \cdot \left(\frac{T_i}{T_n}\right)^{1,0}$$

Можливість використання отриманої залежності при динамічних навантаженнях визначається змінами P_i в динаміці й переважно лінійним зв'язком між статичним і динамічним навантаженням колеса на рейку.

Тоді перехід від динамічних навантажень до контактних напруг у головці рейки можна виконати в такий спосіб.

$$\sigma_{max} = \alpha \sqrt[3]{\frac{P_{dum} \cdot E^2}{R^2}}, \text{ то } P_{dum} = \frac{\sigma_{max}^3 \cdot R^2}{\alpha^3 \cdot E^2};$$

Підставляючи дані одержимо

$$\alpha_p = \left(\frac{\sigma_{P_i}}{\sigma_{P_n}}\right)^4 \cdot \frac{T_i}{T_n} = \frac{\sigma_{P_i}^4 \cdot T_i}{\sigma_{P_n}^4 \cdot T_n}.$$

Якщо на ділянці експлуатуються n видів рухомого складу залізниці, то вираження приймає вид

$$\alpha_p = \frac{\sum_{i=1}^n \sigma_{P_i}^4 \cdot T_i}{\sigma_{P_n}^4 \cdot T_n}.$$

При цьому, у випадку, коли σ_{P_n} й T_n приймають граничні-нормативні значення. Величина ξ_n приймає також граничне значення $[\xi]$.

Тоді, $[\xi] = f(k, [P], [T])$.

Зміна одиночного вилучення рейок α_p в i -м положенні в порівнянні з нормативним

$$\alpha_p = \frac{\xi_i}{[\xi]} = \frac{f(k, P_i, T_i)}{f(k, [P], [T])} = \frac{\sum_{i=1}^n \sigma_{P_i}^4 \cdot T_i}{[\sigma_p]^4 \cdot [T]}$$

Якщо величини пропущеного тоннажу $T_i, [T]$ розглядаються за рівні проміжки часу t , років, то α_p може бути також визначене

$$\alpha_p = \frac{\sum_{i=1}^n \sigma_{P_i}^4 \cdot \Gamma_i \cdot t}{[\sigma_p]^4 \cdot [\Gamma] \cdot t} = \frac{\sum_{i=1}^n \sigma_{P_i}^4 \cdot \Gamma_i}{[\sigma_p]^4 \cdot [\Gamma]}.$$

де Γ_i - пропущений за рік по ділянці залізничної колії тоннаж від рухомого складу i -го виду, т. брутто/рік;

$[\Gamma]$ - вантажонапруженість ділянки залізничної колії, т брутто/рік;

σ_{P_i} - контактні напруги в головці рейки від впливу колеса рухомого

складу i -го виду, МПа;

$[\sigma_p]$ - гранична величина контактних напруг у головці рейки за

умовами міцності, МПа;

Якщо $\xi_i = [\xi]$

$$\frac{\xi_i}{[\xi]} = 1 = \frac{\sum_{i=1}^n \sigma_{P_i}^4 \cdot \Gamma_i \cdot t}{[\sigma_p]^4 \cdot [\Gamma] \cdot [t]} = \frac{t}{[t]} \cdot \frac{\sum_{i=1}^n \sigma_{P_i}^4 \cdot \Gamma_i}{[\sigma_p]^4 \cdot [\Gamma]};$$

На ділянці залізничної колії експлуатуються вантажні й пасажирські поїзди різних видів, типів і в різних структурних співвідношеннях одиниць рухомого складу. Тому пропонувані показники зміни одиночного вилучення рейок α_p і зміни терміну служби рейок β_p можуть бути визначені у вигляді

$$\alpha_p = \frac{\Phi_p}{[\Phi_p]} = \frac{\Phi_{zp} + \Phi_{np}}{[\Phi_p]} = \frac{\Phi_{zlp} + \Phi_{zsp} + \Phi_{nlp} + \Phi_{nsp}}{[\Phi_p]}$$

$$= \frac{\sum_{k_e=1}^2 \sum_{k_m=1}^{l_m} \sum_{k_c=1}^{l_e} \sigma_{zlp}^4 \cdot Q_{zlp k_e k_m k_c} \cdot Q_{zlp k_e k_m k_c} + \sum_{W_m=1}^{m_m} \sum_{W_e=1}^{m_e} \sigma_{zsp}^4 \cdot Q_{zsp W_e W_m} \cdot Q_{zsp W_e W_m}}{[Q_p]^4 \cdot [\Gamma]} +$$

$$+ \frac{\sum_{j_e=1}^2 \sum_{j_m=1}^{p_m} \sum_{j_c=1}^{p_e} \sigma_{nlp}^4 \cdot Q_{nlp j_e j_m j_c} \cdot Q_{nlp j_e j_m j_c} + \sum_{r_m=1}^{d_m} \sum_{r_e=1}^{d_e} \sigma_{nsp}^4 \cdot Q_{nsp r_e r_m} \cdot Q_{nsp r_e r_m}}{[Q_p]^4 \cdot [\Gamma]};$$

$$\beta_p = \frac{\Phi_p}{[\Phi_p]} = \frac{\Phi_{zlp} + \Phi_{zsp} + \Phi_{nlp} + \Phi_{nsp}}{[\Phi_p]}$$

$$= \frac{\sum_{k_e=1}^2 \sum_{k_m=1}^{l_m} \sum_{k_c=1}^{l_e} \sigma_{zlp}^4 \cdot Q_{zlp k_e k_m k_c} \cdot Q_{zlp k_e k_m k_c} + \sum_{W_m=1}^{m_m} \sum_{W_e=1}^{m_e} \sigma_{zsp}^4 \cdot Q_{zsp W_e W_m} \cdot Q_{zsp W_e W_m}}{[Q_p]^4 \cdot [\Gamma]} +$$

$$+ \frac{\sum_{j_e=1}^2 \sum_{j_m=1}^{p_m} \sum_{j_c=1}^{p_e} \sigma_{nlp}^4 \cdot Q_{nlp j_e j_m j_c} \cdot Q_{nlp j_e j_m j_c} + \sum_{r_m=1}^{d_m} \sum_{r_e=1}^{d_e} \sigma_{nsp}^4 \cdot Q_{nsp r_e r_m} \cdot Q_{nsp r_e r_m}}{[Q_p]^4 \cdot [\Gamma]};$$

У вираженнях позначено:

$\Phi_p, [\Phi_p]$ - відповідно сумарний вплив рухомого складу на рейки фактичний і граничний;

Φ_{zp}, Φ_{np} - сумарні впливи на рейки відповідно рухомого складу вантажних і пасажирських поїздів;

$\Phi_{zlp}, \Phi_{nlp}, \Phi_{zsp}, \Phi_{nsp}$ - сумарні впливи на рейки відповідно вантажних і пасажирських локомотивів, вантажних і пасажирських вагонів. При цьому

$$\Phi_{zlp} = \sum_{k_e=1}^2 \sum_{k_m=1}^{l_m} \sum_{k_c=1}^{l_e} y_{zlp k_e k_m k_c}^4 \cdot Q_{zlp k_e k_m k_c};$$

$$\Phi_{nlp} = \sum_{j_e=1}^2 \sum_{j_m=1}^{p_m} \sum_{j_c=1}^{p_e} y_{nlp j_e j_m j_c}^4 \cdot Q_{nlp j_e j_m j_c};$$

$$\Phi_{zsp} = \sum_{W_m=1}^{m_m} \sum_{W_e=1}^{m_e} y_{zsp W_e W_m}^4 \cdot Q_{zsp W_e W_m};$$

$$\Phi_{nsp} = \sum_{r_m=1}^{d_m} \sum_{r_e=1}^{d_e} y_{nsp r_e r_m}^4 \cdot Q_{nsp r_e r_m}$$

$y_{zlp k_e k_m k_c}$ - контактні напруги в рейках від колеса k_c -го вантажного локомотива k_m -го типу, k_e -го виду (електровоз, тепловоз);

$Q_{zlp k_e k_m k_c}$ - маса k_c -о вантажного локомотива k_m -о типу, k_e -о виду, т;

$Y_{np\ j_e j_m j_e}$ - контактні напруги в рейках від колеса j_e -го пасажирського локомотива j_m -го типу, j_e -го виду, МПа;

$Q_{nl\ j_e j_m j_e}$ - маса j_e -о пасажирського локомотива j_m -о типу, j_e -о виду, т;

$Y_{z\wp\ W_e W_m}$ - контактні напруги в рейках від колеса W_e -го вантажного вагона W_m -го типу, МПа;

$Y_{np\ r_e r_m}$ - контактні напруги в рейках від колеса r_e -го пасажирського вагона r_m -го типу, МПа;

$Q_{z\wp\ W_e W_m}$ - маса W_e -го вантажного вагона W_m -го типу, т;

$Q_{np\ r_e r_m}$ - маса r_e -го пасажирського вагона r_m -го типу, т;

2 - кількість видів вантажних і пасажирських локомотивів;

l_m, p_m, m_m, d_m - кількість типів відповідно вантажних, пасажирських локомотивів, вантажних і пасажирських вагонів;

l_e, p_e, m_e, d_e - кількість одиниць відповідно вантажних, пасажирських локомотивів, вантажних і пасажирських вагонів певних видів і типів.

Знос рейок, як доведено з розрахунків вище, на певних ділянках залізничної колії визначає строк їх служби. Крім цього, зношування істотно впливає на величину основного опору. У цьому зв'язку встановлення величини зміни зносу рейок і строку їхньої служби внаслідок зміни динамічного впливу рухомого складу на колію становить суттєвий інтерес. Для даного випадку, запропоновані нами величини: функціональні вираження показників зміни зносу рейок b_u і зміни терміну служби рейок через зношування v_u визначається як

$$b_u = \left\{ \sum_{k_e=1}^2 \sum_{k_m=1}^{l_m} \sum_{k_e=1}^{l_e} \left[30tg^3 \left(1,25 \cdot 10^{-3} y_{znp\ k_e k_m k_e} \right) \cdot W_{zlk_e k_m k_e} + 0,2 \left(10^{-4} \cdot y_{znp\ k_e k_m k_e} \right)^9 \right] \frac{Q_{zlk_e k_m k_e}}{P_{zlk_e k_m k_e}} + \sum_{W_m=1}^{m_m} \sum_{W_e=1}^{m_e} \left[30tg^3 \left(1,25 \cdot 10^{-3} y_{z\wp\ W_e W_m} \right) \cdot W_{z\wp\ W_e W_m} + 0,2 \left(10^{-4} \cdot y_{z\wp\ W_e W_m} \right)^9 \right] \frac{Q_{z\wp\ W_e W_m}}{P_{z\wp\ W_e W_m}} + \sum_{j_e=1}^2 \sum_{j_m=1}^{p_m} \sum_{j_e=1}^{p_e} \left[30tg^3 \left(1,25 \cdot 10^{-3} y_{np\ j_e j_m j_e} \right) \cdot W_{nl\ j_e j_m j_e} + 0,2 \left(10^{-4} \cdot y_{np\ j_e j_m j_e} \right)^9 \right] \frac{Q_{nl\ j_e j_m j_e}}{P_{nl\ j_e j_m j_e}} + \sum_{r_m=1}^{d_m} \sum_{r_e=1}^{d_e} \left[30tg^3 \left(1,25 \cdot 10^{-3} y_{np\ r_e r_m} \right) \cdot W_{nr_e r_m} + 0,2 \left(10^{-4} \cdot y_{np\ r_e r_m} \right)^9 \right] \frac{Q_{nr_e r_m}}{P_{nr_e r_m}} \right\} / \left\{ \left[30tg^3 \left(1,25 \cdot 10^{-3} \cdot [y_p] \right) [W] + 0,2 \left(10^{-4} \cdot [y_p] \right)^9 \right] \frac{[U]}{[I]} \right\};$$

$$\begin{aligned}
B_u = & \left\{ \left[30tg^3(1,25 \cdot 10^{-3} \cdot [y_p])[\omega] + 0,2(10^{-4} \cdot [y_p])^9 \right] \frac{[L]}{[I]} \right\} \div \\
& \div \left\{ \sum_{k_e=1}^2 \sum_{k_m=1}^{l_m} \sum_{k_e=1}^{l_e} \left[30tg^3(1,25 \cdot 10^{-3} y_{zlp_{k_e k_m k_e}}) \cdot W_{zlp_{k_e k_m k_e}} \right. \right. \\
& + 0,2(10^{-4} \cdot y_{zlp_{k_e k_m k_e}})^9 \left. \right] \frac{Q_{zlp_{k_e k_m k_e}}}{\Pi_{zlp_{k_e k_m k_e}}} \\
& + \sum_{W_m=1}^{m_m} \sum_{W_e=1}^{m_e} \left[30tg^3(1,25 \cdot 10^{-3} y_{zep_{W_e W_m}}) \cdot W_{zep_{W_e W_m}} \right. \\
& + 0,2(10^{-4} \cdot y_{zep_{W_e W_m}})^9 \left. \right] \frac{Q_{zep_{W_e W_m}}}{\Pi_{zep_{W_e W_m}}} \\
& + \sum_{j_e=1}^2 \sum_{j_m=1}^{p_m} \sum_{j_e=1}^{p_e} \left[30tg^3(1,25 \cdot 10^{-3} y_{npj_{j_e j_m j_e}}) \cdot W_{npj_{j_e j_m j_e}} \right. \\
& + 0,2(10^{-4} \cdot y_{npj_{j_e j_m j_e}})^9 \left. \right] \frac{Q_{npj_{j_e j_m j_e}}}{\Pi_{npj_{j_e j_m j_e}}} \\
& + \sum_{r_m=1}^{d_m} \sum_{r_e=1}^{d_e} \left[30tg^3(1,25 \cdot 10^{-3} y_{npr_{r_e r_m}}) \cdot W_{npr_{r_e r_m}} + 0,2(10^{-4} \right. \\
& \left. \cdot y_{npr_{r_e r_m}})^9 \right] \frac{Q_{npr_{r_e r_m}}}{\Pi_{npr_{r_e r_m}}} \left. \right\}
\end{aligned}$$

де $W_{zlp_{k_e k_m k_e}}, W_{zep_{W_e W_m}}, W_{npj_{j_e j_m j_e}}, W_{npr_{r_e r_m}}$ - відповідно повне сковзання в контактi колеса вантажного й пасажирського локомотивiв, вантажного й пасажирського вагонiв з рейкою, %;

$[W]$ - нормативна величина повного сковзання в контактi колеса з рейкою, %;

$\Pi_{zlp_{k_e k_m k_e}}, \Pi_{zep_{W_e W_m}}, \Pi_{npj_{j_e j_m j_e}}, \Pi_{npr_{r_e r_m}}$ - відповідно навантаження від колiсної пари вантажного й пасажирського локомотивiв, вантажного й пасажирського вагонiв на рейки, Н;

$[L]$ - нормальне осьове навантаження від рухомого складу на залiзничну колiю, Н.

Висновки з даного дослідження та перспективи подальших робiт у цьому напрямку

Результати, що були отриманi внаслідок виконаних розрахункiв дозволять бiльш ефективно планувати витрати на вiдтворення об'єктiв колiйної iнфраструктури, а запропонована методика може бути використана при розробцi обгрунтованих тарифiв за користування залiзничною транспортною iнфраструктурою в частинi колiйного господарства.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Міщенко М.І. Удосконалювання планування витрат інфраструктури залізниць України. [Текст], стаття. - Проблеми підвищення ефективності інфраструктури. Збірник наукових праць: Випуск 28.-Київ: НАУ, 2010.-с.247.
2. Положення про проведення планово-запобіжних ремонтно-колійних робіт на залізницях України, затверджене наказом Укрзалізниці від 10.08.2004 № 630-ЦЗ.
3. Аналіз роботи колійного господарства залізниць України за 2009 рік. – Київ: Державна адміністрація залізничного транспорту України, 2010.-с.15.