

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ПАРАМЕТРІВ ФУНКЦІОНУВАННЯ ТРАНСПОРТНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ

Досліджуються якісні і кількісні параметри факторів, що впливають на стан залізничної інфраструктури з метою прогнозування зносу об'єктів інфраструктури та раціонального планування їх відтворення з урахуванням джерел фінансування.

Исследуются качественные и количественные параметры факторов, влияющих на состояние железнодорожной инфраструктуры с целью прогнозирования износа объектов инфраструктуры и рационального планирования их воспроизводства с учетом источников финансирования.

They Are Researched qualitative and quantitative parameters factor, influencing upon condition of the railway infrastructure for the reason forecastings of the wear-out object infrastructures and rational planning their reproduction with provision for the sources of the financing.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок з важливими науковими чи практичними завданнями. Актуальним завданням на сьогоднішній день в умовах реформування галузі є розробка оптимального економічного механізму взаємодії суб'єктів перевізної діяльності з об'єктами залізничної інфраструктури. В основі такого механізму лежить витратний метод формування тарифу за користування об'єктами транспортної інфраструктури. Він ґрунтується на максимально об'єктивному урахуванні умов в яких використовуються об'єкти інфраструктури, визначенні факторів, що впливають на їх стан та прогнозуванні основних характеристик на перспективу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано вирішення даної проблеми і на які спирається автор. Питання тарифоутворення за користування об'єктами інфраструктури має на сьогоднішній день першорядне значення [1]. Досліджуючи ситуацію, що склалася на залізничному транспорті в колійній складовій інфраструктурного комплексу, можна визначити, що за минулий рік колієвимірювальними вагонами залізниць було видано 4754 попереджень про обмеження швидкості руху поїздів. Така ситуація потребує негайного виконання цілого комплексу колійних робіт з метою ліквідації так званих «вузьких» ділянок колії, зменшення вірогідності виникнення аварійних ситуацій. При цьому основним джерелом фінансування робіт на перспективу можуть стати саме сплати суб'єктів перевізної діяльності. Тим більше, що з точки зору системного підходу [2] ефективність функціонування залізничного транспорту прямо залежить від якості і стану колійної складової.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, яким присвячується означена стаття

Транспортна система – це складний механізм взаємопов'язаних факторів виробництва. При розрахунку тарифу за користування залізничною інфраструктурою, визначенні умов функціонування певної ділянки колії,

невизначеним з'ясовується питання аналізу експлуатаційних параметрів транспортної системи.

Формулювання цілей статті (постановка завдання)

Метою даної статті є дослідження та аналіз умов функціонування ділянки колії у взаємодії з рухомим складом та виділення найсуттєвіших факторів, що впливають на стан транспортної системи. Це дозволить прогнозувати стан колійної складової на перспективу та розраховувати справедливу величину коштів, необхідних для приведення об'єктів інфраструктури у стан відповідності до вимог суб'єктів перевізної діяльності в залежності від навантаження на них та конкретних експлуатаційних умов.

Виклад основного матеріалу дослідження з обґрунтуванням отриманих наукових результатів

Один з найголовніших факторів – це розміри руху

а) рух вантажний

Середньорічне число поїздів у добу в навантаженому напрямку визначається за формулою:

$$P_{\text{вант.об}} = P_{\text{вант}} + P_{\text{приск}} + P_{\text{зб}} + P_{\text{пор}}$$

де $P_{\text{вант}}$ – кількість навантажених поїздів, крім прискорених і збірних.

Визначається за формулою:

$$P_{\text{вант}} = \frac{G_{\text{вант}} \cdot 10^6}{365 \cdot Q_{\text{сер}} \cdot \gamma}$$

$P_{\text{приск}}, P_{\text{зб}}$ – кількість прискорених і збірних поїздів;

$P_{\text{пор}}$ – кількість порожніх поїздів, визначається по формулі:

$$P_{\text{пор}} = \frac{N_{\text{пор}}}{m_{\text{пор}}}$$

$N_{\text{пор}}$ – середньорічна кількість порожніх вагонів у добу, що проходять у навантаженому напрямку;

$m_{\text{пор}}$ – кількість вагонів у порожньому составі поїзда;

$G_{\text{вант}}$ – вантажопотік лінії (нетто) у навантаженому напрямку, освоюваний вантажними поїздами без урахування прискорених і збірних поїздів, млн. т-рік;

$Q_{\text{сер}}$ – середня маса рухомого складу вантажних поїздів, крім прискорених і збірних, т;

γ – відношення маси поїзда нетто до маси брутто.

Вантажопотік, що виконується прискореними й збірними поїздами, дорівнює:

$$G_{\text{приск+зб}} = 365 [(Q_{\text{бр}} \cdot \gamma)_{\text{зб}} \cdot P_{\text{зб}} + ((Q_{\text{бр}} \cdot \gamma)_{\text{приск}} \cdot P_{\text{приск}})], \text{ т/рік}$$

Кількість порожніх поїздів у зворотному напрямку визначається за формулою:

$$П_{пор} = \frac{(Г_{вант} - Г_{зс}) \cdot 10^6}{365 \cdot P_n \cdot \gamma \cdot m},$$

де P_n – середня маса бруто завантаженого вагону, т;

m - число вагонів у складі порожнього поїзда;

$Г_{зр}$, $Г_{обр}$ - відповідно вантажопотік, у навантаженому й зворотному напрямках, т.

б) рух пасажирський

Середньорічні розміри далекого пасажирського сполучення, визначаються кількістю пасажирських поїздів у добу:

$$П_{пн} = \frac{K_{нас} \cdot П}{H_{пн}},$$

де $П_{пн}$ – число пасажирських поїздів у кожному напрямку за добу;

$K_{нас}=1,43$ – коефіцієнт нерівномірності населеності поїздів;

$П$ – добовий пасажиропотік в одному напрямку, чол.;

$H_{пн}$ – населеність поїзда на місяць максимальних перевезень, рівна 896 при $Q_n=1200$ т та 747 чол. при $Q_n=1000$ т.

Наявна пропускна здатність ділянки по перегонах визначається

а) для одноколієних ділянок

$$N_{max} = \frac{1440}{T} = \frac{1440}{t_x + t_x' + \tau_{сxp} + \tau_{пн} + \tau_{рс}},$$

пар поїздів, де

T – період непакетного графіка руху поїздів, хв;

$t_x + t_x'$ - час ходу пари поїздів по критичному перегоні, протяжність якого в середніх умовах може прийматися рівним 12 км;

$\tau_{сxp}$, $\tau_{пн}$ – станційні інтервали відповідно по схрещенню й неодмінному прибуттю поїздів, прийняті в середньому при:

– напівавтоматичному блокуванні $\tau_{сxp}=3$ мин, $\tau_{пн}=1$ мин;

- автоблокуванні й диспетчерській централізації $\tau_{сxp}=1$ мин, $\tau_{пн}=3$ мин;

$\tau_{рс}$ – додатковий час на розгін і вповільнення поїзда, що становить у середньому 3 хв.

б) для двоколієних ліній з автоблокуванням

$$N_{max} = \frac{1440}{J}, \text{ пар поїздів/доба}$$

де J - інтервал між поїздами, прийнятий рівним 8 хвилин.

Потрібна пропускна здатність ділянки по перегонах визначається вираженням:

$$N_{пор} = \frac{1}{\gamma_3} [n_{вант} + n_{пн} \cdot \varepsilon_{пн} \cdot K_{пн} + n_{приск} (\varepsilon_{приск} - 1) + n_{зб} (\varepsilon_{зб} - 1)],$$

пар поїздів/доба

де γ_3 – коефіцієнт, що характеризує технічно можливий або економічно доцільний ступінь заповнення пропускної здатності ліній. Відмови в роботі технічних засобів знижують рівень можливого використання пропускної

здатності на 15-20%. У середніх умовах значення γ_3 з достатньою точністю можна прийняти для одноколієних ліній $\gamma_3=0,77$, для двоколієних – 0,8;

K_{nn} - співвідношення коефіцієнтів нерівномірності пасажирського й вантажного руху на місяць максимальних вантажних перевезень, рівне 1,1;

ε_{nn} , $\varepsilon_{приск}$, $\varepsilon_{зб}$ - коефіцієнти знімання вантажних поїздів відповідно пасажирськими, прискореними й збірними поїздами.

Провізна спроможність лінії розраховується за формулою

$$C_{max} = [\gamma_3 \cdot N_{max} - (\varepsilon_{nn} \cdot n_{nn} + \varepsilon_{приск} \cdot n_{приск} + \varepsilon_{зб} \cdot n_{зб})] \cdot Q_n \cdot 365 + (n_{nn} \cdot Q_{н.приск} + n_{зб} \cdot Q_{н.зб}) \cdot 365, \text{ т/рік}$$

де Q_n , $Q_{н.приск}$, $Q_{н.зб}$ - середня маса нетто відповідно вантажних, прискорених і збірних поїздів.

Середньодобовий пробіг локомотива, км/добу

$$S_{\delta} = \frac{48L_p}{T_{об}}$$

де $T_{об}$ - час обороту локомотива, ч.

$$T_{об} = \frac{48L_p}{V_{дін}} + t_{л}$$

де L_p - довжина розрахункової ділянки, км;

$V_{дін}$ - дільнична швидкість, км/год.;

$t_{л}$ - середній час простою локомотива за оборот, віднесений до довжини розрахункової ділянки, год.

$$t_{л} = t_{об} + 2t_{дін}K_{дін}\alpha_{тр}$$

де $t_{об}$ - простій локомотивів у пунктах обороту й перечеплення, у год., що може бути розрахований за формулою:

- для вантажного руху

$$t_{об} = [t_{техн} \cdot \frac{2 \cdot L_{\delta ол}}{L_{\delta ол}} + (t_{техн} + t_{оч.об})K_{об} + (t_{техн} + t_{оч.пер}) \cdot (1 - \alpha_{тр}) \cdot 2K_{пер}] \frac{L_p}{L_{\delta ол}},$$

де $t_{техн}$ - час, необхідне для технічного огляду й екіпірування локомотива;

$L_{\delta ол}$ - пробіг локомотива між технічними оглядами;

$L_{\delta ол}$ - загальна довжина ділянки обігу, км;

$t_{оч.об}$, $t_{оч.пер}$ - додатковий час перебування локомотивів у пунктах обороту й перечеплення чекаючи «нитки» графіка в год., обумовлений з вираження:

- у вантажному русі на одноколієних лініях:

$$t_{оч.об} = \frac{24}{n_{сант}} + 1;$$

$$t_{оч.пер} = \frac{16,8}{n_{сант} \cdot (1 - \alpha_{тр})} + 0,7;$$

- на двухпутних лініях:

$$t_{оч.об} = \frac{12}{n_{сантп} + n_{нп}} (1 + 0,046 \cdot n_{нп} \cdot J_p);$$

$$t_{оч.пер} = \frac{18,4}{n_{сант} \cdot (1 - \alpha_{мп}) + n_{нп}} [1 + 0,046 \cdot n_{нп} \cdot J_p \cdot (1 + 0,01 \cdot n_{сант} \cdot \alpha_{мп})],$$

де J_p - розрахунковий інтервал між поїздами;

$\alpha_{мп}$ - питома вага транзитного поїздопоток, що проходить через ділянку станції (у середньому приблизно 70% загального поїздопоток);; $\alpha_{мп} = 0,7$;

$K_{об}, K_{пер}$ - кількість пунктів обороту й перечеплення локомотива на ділянці його обігу;

$K_{дін}$ - кількість дільничних станцій на розрахунковій ділянці

$$K_{дін} = K_{об} \cdot \frac{L_p}{L_{дін}},$$

$t_{дін}$ - тривалість простою транзитних вантажних поїздів на ділянці станції залежно від засобів зв'язку по руху визначається по формулах

$$t_{дін} = [t_m + 0,5T \cdot \gamma_3^3 + \frac{(0,4T + 0,5T \cdot \alpha_{мп} + 0,6t_{нп})^2 \cdot n_{нп}}{\alpha_{мп} \cdot n_{сант} \cdot (\frac{1440}{\alpha_{мп} \cdot n_{сант}} - T)}] \cdot \frac{1}{60},$$

де t_m - тривалість обробки вантажного транзитного поїзда на дільничній станції по технологічному процесі;

T - період графіка у хв., при середній довжині критичного перегону $l_{кр}$, тривалості станційних інтервалів $\tau_{сxp} + \tau_{нп}$ и і часу на розгін і вповільнення поїзда $\tau_{рв}$ визначається з вираження:

$$T = \frac{2 \cdot l_{кр} \cdot 60}{V_x} + \tau_{сxp} + \tau_{нп} + \tau_{рв},$$

γ_3 - ступінь заповнення пропускної здатності ділянки, рівна

$$\gamma_3 = \frac{n_{сант} + \varepsilon \cdot n_{нп}}{N_{max}} = \frac{(n_{сант} + \varepsilon \cdot n_{нп}) \cdot T}{1440},$$

ε - коефіцієнт знімання вантажних поїздів пасажирськими при напівавтоматичному блокуванні;

$t_{нс}$ - середня стоянка пасажирського поїзда на дільничній станції.

- при диспетчерської централізації й автоматичному блокуванні $t_{дін}$

- при автоматичному блокуванні, год

$$t_{дін} = [20 + (0,08 \cdot t_m \cdot n_{нп} \cdot n_{сант} \cdot \alpha_{мп} \cdot 10^{-2})] \frac{1}{60}$$

Річний пробіг тепловоза, км/рік

$$S_{пик} = S_{доба} \cdot 365 \frac{1 - \alpha_{лок}}{K_{лок}},$$

де $K_{лок}$ - коефіцієнт, що враховує нерівномірність руху (місячну, добову, внутримісячну). У вантажному русі коефіцієнт нерівномірності перевезень прийнятий рівним: місячної - 1,14; внутримісячної - 1,16; добової - 1,03;

тоді, значення $K_{лок}$ складе $1,15 \cdot 1,16 \cdot 1,03 = 1,36$. У пасажирському русі величина $K_{лок}$ прийнята рівною 1,29.

$\alpha_{лок}$ - частка несправних локомотивів, що залежить від величини міжремонтних пробігів, часу простою локомотива на планових і непланових ремонтах, визначається з вираження

$$\alpha_{лок} = \frac{t_{пр} \cdot S_{доба}}{S_{кр} + t_{пр} \cdot S_{доба}}$$

де $t_{пр}$ - час простою локомотива у всіх видах ремонту за цикл між капітальними ремонтами, дорівнює

$$t_{пр} = \sum_{i=1}^n t_{рем i} \cdot n_{рем i}$$

, доба

n - кількість видів ремонту;

$t_{рем i}$ - час простою в кожному виді ремонту;

$n_{рем i}$ - кількість ремонтів кожного виду за цикл між капітальними ремонтами. Визначається відповідно до міжремонтних пробігів, встановленими на локомотив по формулах:

капітальних

$$n_{кр} = \frac{S_{кр}}{S_{кр}} = 1;$$

середніх

$$n_{сер} = \frac{S_{кр}}{S_{сер}} - n_{кр};$$

ТР-3

$$n_{ТР-3} = \frac{S_{кр}}{S_{ТР-3}} - (n_{кр} + n_{сер});$$

ТР-2

$$n_{ТР-2} = \frac{S_{кр}}{S_{ТР-2}} - (n_{кр} + n_{сер} + n_{ТР-3})$$

ТР-1

$$n_{ТР-1} = \frac{S_{кр}}{S_{ТР-1}} - (n_{кр} + n_{сер} + n_{ТР-3} + n_{ТР-2})$$

ТО-3

$$n_{ТО-3} = \frac{S_{кр}}{S_{ТО-3}} - (n_{кр} + n_{сер} + n_{ТР-3} + n_{ТР-2} + n_{ТР-1}),$$

$S_{кр}, S_{сер}$ - пробіг локомотива до капітального й середнього ремонтів, км;

$S_{ТР-3}, S_{ТР-2}, S_{ТР-1}$ - пробіг локомотива до поточного ремонту, км, відповідно до ТР-3, ТР-2, ТР-1

$S_{ТО-3}$ - пробіг локомотива до технічного огляду ТЕ-3, км.

Потрібний парк локомотивів визначаємо по формулах:

- вантажних

$$M_i^{вант} = \frac{(1+\beta_{дон}) \cdot K_{зок}}{(1-\alpha_{зок}) \cdot 24} \cdot \left(\frac{2 \cdot L_p}{V_{диз}} + t_{л} \right) \cdot n_{вант} + \frac{\sum NH_3}{8760},$$

- пасажирських

$$M_i^{пж} = \frac{(1+\beta_{дон}) \cdot K_{зок}}{(1-\alpha_{зок}) \cdot 24} \cdot \left(\frac{2 \cdot L_p}{V_{диз}} + t_{л} \right) \cdot n_{пж},$$

де $\beta_{дон}$ - коефіцієнт допоміжного пробігу локомотивів, у дослідженні прийнятий рівним 0,1 для вантажного й 0,03 для пасажирського руху;

$\sum NH_3$ - час затримки поїздів, що викликане наданням «вікон» у графіку руху для колійних робіт, що залежить від кількості «вікон» і їхньої тривалості. Оскільки тривалість «вікон» неоднакова для кожного виду ремонту колії й на ділянках з різною кількістю головних колій, то розрахунок поїздо-годин затримки виконуємо окремо для одноколійних і двоколійних ділянок і для кожного виду ремонту капітального, середнього й під'ємного.

У загальному виді час затримки при даній тривалості «вікна» визначимо по формулі:

$$\sum NH_3 = \sum_{i=1}^{n'} n_{єікi} \cdot \sum T$$

n' - кількість видів ремонтних колійних робіт;

$n_{єікi}$ - кількість «вікон» однієї й тієї ж тривалості за рік;

$\sum T$ - сумарний простій поїздів при наданні одного «вікна» даної тривалості.

Річна кількість «вікон» $n_{єік}$, необхідна для виконання ремонтних колійних робіт на розрахунковій ділянці L_p визначимо за формулами:

- для капітального ремонту:

$$n_{єік}^{кп} = \frac{L_p \cdot n_{зол}}{t_{кп} \cdot l_{кп}},$$

- для середнього ремонту:

$$n_{єік}^{сп} = \frac{L_p \cdot n_{зол} \cdot K_{сп}}{t_{сп} \cdot l_{сп}},$$

- для під'ємного ремонту:

$$n_{єік}^{пж} = \frac{L_p \cdot n_{зол} \cdot K_{пж}}{t_{пж} \cdot l_{пж}},$$

де $n_{зол}$ - кількість головних колій;

$K_{сп}$, $K_{пж}$ - кількість відповідно середніх і під'ємних ремонтів колії за міжремонтний цикл між двома капітальними ремонтами;

$l_{кп}$, $l_{сп}$, $l_{пж}$ - довжина колії, ремонтуваної в одне «вікно» відповідно при капітальному, середньому й під'ємному ремонті, км.

У дослідженні приймаємо на одноколійних лініях:

$l_{кп}=1,6$ км, $l_{сп}=1,4$ км, $l_{пж}=1,85$ км;

На двоколіїних лініях:

$$l_{кр} = 1,9 \text{ км}, l_{сер} = 1,4 \text{ км}, l_{пр} = 1,85 \text{ км};$$

$t_{кр}$ - період між двома капітальними ремонтами, обумовлений з вираження

$$t_{кр} = \frac{\Gamma_{бр\text{вст}}}{\sum \Gamma_{бр}}$$

де $\Gamma_{бр\text{вст}}$ – міжремонтний тоннаж, встановлений для різних типів верхньої будови колії, млн.ткм.бр/км;

$\sum \Gamma_{бр}$ - сумарна річна вантажонапруженість бруто ділянки, млн.ткм.бр/км у рік, обумовлена для двоколіїних ліній – у навантаженому напрямку, для одноколіїних - в обох напрямках проходження

$$\sum \Gamma_{бр} = 365 [n_{сант}(P + Q_{сант}) + n_{пр}(P + Q_{пр})]$$

Тривалість «вікна» для виконання колійних ремонтних робіт $T_{вік}$ у середньомережєвих умовах нами прийнята рівною: для проведення капітального ремонту колії на двоколіїних лініях – 5 год., на одноколіїних – 4 год., середнього ремонту – 4 і 3 год., під'ємного ремонту – 2,5 год.

$\sum T$ - сумарний простій поїздів, викликаний наданням «вікна», визначається вираження:

- для одноколіїних ліній

$$\sum T = \frac{T_{вік}^2 \cdot n_{сант} \cdot 60}{T(N_{max} - n_{сант} - n_{пр})} - T_{вік}$$

де T – період непакетного графіка руху поїздів, хв;

N_{max} – розрахункова наявна пропускна здатність ділянки, пара поїздів/доба;

- для двоколіїних ліній

$$\sum T = \frac{t_{пр}^2}{60(J_{сер} - J_p)} = \frac{[0,5(T_{вік} + T) - J_{сер}]^2}{60(J_{сер} - J_p)}$$

де $t_{пр}$ - перерва в русі у зв'язку з наданням «вікон», хв;

$J_{сер}$ - середній інтервал між поїздами, хв;

$$J_{сер} = \frac{1440}{n_{сант}(1 + 0,017n_{пр})}$$

Річна продуктивність локомотива, ткм/пасс.км

- вантажний локомотив

$$A_{т\cdot км} = \frac{(\Gamma_{сант} + \Gamma_{об}) \cdot 10^6 \cdot L_p}{M_{ли}}, \text{ т} \cdot \text{км нетто}$$

- пасажирський локомотив

$$A_{пасс\cdot км} = \frac{П_p \cdot 10^6 \cdot 2L_p}{M_{ли}}, \text{ пасс} \cdot \text{км}$$

Висновки з даного дослідження.

В результаті виконаних досліджень були встановлені кількісні та якісні параметри основних факторів, що впливають на стан транспортної системи і, зокрема, об'єктів колійної інфраструктури.

Перспективи подальших робіт у цьому напрямку

У перспективі врахування вказаних факторів при моделюванні процесу функціонування об'єктів колійної інфраструктури дозволить чітко визначати величину витрат, необхідну для відтворення виробничих потужностей колійного господарства та більш ефективно планувати та розподіляти кошти на ці цілі з урахуванням джерел фінансування.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Вплив витрат інфраструктури на планування й прогнозування експлуатаційних витрат залізниць Залізничний транспорт України [Текст]. – 2009.- №6.- С.23-25.
2. Системний підхід в обґрунтуванні рівня витрат інфраструктури залізниць Вісник ДНУЗТ [Текст].- Вип. 31.- Вид-во ДНУЗТ, 2010.- 302 с.