

РОЗСОХА О. В., канд. техн. наук, доцент,

СМАЧИЛО Ю. В., аспірант,

ПАВЛЕНКО О. М., магістрант (Український державний університет залізничного транспорту)

Оптимізація конструкції розв'язок підходів залізничного вузла для умов швидкісного руху поїздів

У статті узагальнена та набула подальшого розвитку теорія проектування об'єктів транспортної інфраструктури на прикладі розв'язок підходів до залізничного вузла. Подано математичну модель визначення оптимальних конструктивних параметрів розв'язок колій в залізничних вузлах з позиції ресурсозбереження та забезпечення безпеки руху. Діючі методи розрахунку колієпровідних розв'язок спрямовані на побудову геометричних форм без проведення оптимізаційних розрахунків щодо визначення конструктивних параметрів колієпровідних розв'язок. Модель базується на мінімізації капітальних витрат у будівництво колієпровідної розв'язки при оптимальних кутах перехрещення колій, радіусах кривих дільниць та марках хрестовин стрілочних переводів. Подано у загальному вигляді модель управління ризиками виникнення транспортних подій на підходах до вузла.

Ключові слова: колієпровідні розв'язки, підходи до вузла, оптимізація.

Вступ

Сучасні тенденції на ринку транспортних послуг з перевезення пасажирів призводять до зменшення ролі залізничного та підвищення значення автомобільного й повітряного транспорту. Тому необхідно здійснювати заходи в питаннях підвищення привабливості залізничних перевезень пасажирів шляхом впровадження високошвидкісних магістралей (ВШМ).

Саме такі заходи дають можливість галузі залізничного транспорту зберегти і ефективно використовувати існуючий технічний потенціал для здійснення структурних технологічних змін та збереження конкурентних переваг перед іншими видами транспорту.

Висока ефективність високошвидкісного залізничного транспорту сприяє його розвитку як у сферах послуг, так і в конструкціях пристроїв для обслуговування високошвидкісних поїздів, зокрема колійного розвитку.

В теперішній час значна кількість рішень щодо розподілу підходів вантажонапружених залізничних магістралей в крупних вузлах припадає на частку колієпровідних розв'язок ліній.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Значний внесок у розвиток теорії ефективної організації пасажирських перевезень та конструкції залізничних вузлів зробили В. І. Бобровський, Т. В. Бутько, Н. І. Бещева, М. І. Данько, С. В. Земблінов, П. С. Грунтов, Д. М. Козаченко,

Н. В. Колодяжний, А. М. Корнаков, Ф. П. Кочнев, В. Я. Негрей, Б. Е. Пейзахсон, М. В. Правдін, М. Я. Стефанов, М. П. Іхненко, Ю. О. Пазойський та ін. [1-4].

Вказаними вченими здійснено низку науково-дослідних і проектних робіт з впровадження спеціалізованих залізничних ліній для руху пасажирських поїздів зі швидкістю 250 км/год у напрямку Москва-Сімферополь. Це сприяло б підвищенню ефективності роботи залізниць. Проте труднощі, пов'язані з необхідністю організації вантажних перевезень, обсяги яких значно збільшились у середині 1970-х років, відклали на певний час питання організації швидкісного руху. Питання організації швидкісного руху набули розвитку тільки на початку 21 сторіччя.

Засновниками теорії розрахунку колієпровідних розв'язок були відомі вчені: В. М. Образцов, А. М. Корнаков та С. В. Земблінов. У [3] авторами узагальнено відомі на той час методики розрахунку конструктивних параметрів розв'язок та надано класифікацію залізничних вузлів, яка в основному діє і по теперішній час. В основі цієї теорії є визначення конструктивних параметрів колієпровідних розв'язок за відомими тригонометричними формулами, де значення окремих елементів приймаються відповідно до досвіду проектувальників. Серед оптимізаційних розрахунків є методика вибору кута перехрещення колій на колієпроводі серед двох-трьох варіантів. Теорію цих вчених поступово удосконалювали з роками.

© О. В. Розсоха, Ю. В. Смачило, О. М. Павленко, 2018

У [4] авторами проведено аналіз наукових робіт з проблеми автоматизації проектування залізничних станцій. Цей аналіз показав, що методи прямого синтезу оптимальної конструкції планів колійного розвитку практично відсутні. При цьому система моделей повинна підтримувати ітераційний процес удосконалення вихідного варіанта станції на основі послідовного багатократного розв'язання задач аналізу та синтезу. Для реалізації даного підходу розроблена методика автоматизованого перетворення немасштабної схеми, що розроблена проектувальником, у масштабний план. При цьому забезпечується можливість інтерактивного введення, обробки та виведення інформації про колійний розвиток станції в графічній формі.

Розроблено систему структурно-параметричних моделей станції, а також алгоритмів виконання проектних процедур, які дозволяють автоматизувати процес синтезу колійного розвитку станцій на всіх його етапах. В основу моделей закладено уявлення схем станцій у вигляді орієнтовних графів.

Існуючі методи розрахунку колієпровідних розв'язок, що розроблені вищезазначеними авторами, були спрямовані для поїздів звичайних магістралей залізниць. Оптимізаційним розрахункам щодо визначення конструктивних параметрів колієпровідних розв'язок уваги майже не приділялось.

Визначення мети та задачі дослідження

Метою даної роботи є підвищення ефективності функціонування пасажирських перевезень залізничним транспортом при впровадженні високошвидкісних магістралей. Одним з багатьох напрямків цих заходів є удосконалення конструкції колійних розв'язок у залізничних вузлах.

Основна частина дослідження

Розв'язками називають комплекс колійних пристроїв та споруд (колієпроводів), призначених для пропуску рухомого складу по маршрутах, що взаємно перехрещуються.

На принципову схему розв'язки підходів у вузлах впливають такі фактори: кількість головних колій на лініях, що підлягають розв'язці; допустимість або недопустимість перехрещення окремих ліній в одному рівні без колієпроводів; геометрична схема (тип вузла); взаємне розташування основних елементів вузла (станцій, парків) в схемі та їх призначення; напрямок поїздопотоків, характер і розміри руху через вузол; умови рельєфу місцевості та положення існуючих колій в плані та профілі.

Проектування колієпровідних розв'язок у вузлах та на станціях повинно виконуватись з ретельним, достатньо обґрунтованим вибором їх схеми, правильним та економічно вигідним розміщенням всіх

пристроїв в плані та профілі, з урахуванням зниження витрат на спорудження та експлуатацію розв'язок.

Сучасний етап розвитку теорії обґрунтування проектних рішень при проектуванні розвитку та реконструкції об'єктів залізничної інфраструктури характеризується широким впровадженням сучасних математичних методів, перш за все, імітаційного моделювання з урахуванням реалій ринкових реформ. Це в повній мірі може бути віднесено до обґрунтування вибору найбільш оптимального виду розв'язки підходів до залізничного вузла.

Відомі три види розв'язок маршрутів: в одному рівні в горловинах станцій; в одному рівні із спорудженням постів-шлюзів та в різних рівнях зі спорудженням колієпровідних розв'язок.

Останній вид розв'язок, з експлуатаційної точки зору, є найбільш радикальним, що дозволяє повністю виключити затримки рухомого складу на перехрещеннях маршрутів. Але цей вид вимагає значних капіталовкладень та викликає значні експлуатаційні витрати на тягу поїздів через збільшення пробігу та змінення профілю підходів з проектуванням крутих уклонів навіть до керівного для забезпечення різниці рівня верха головок рейок колій, що перехрещуються, на колієпроводах висотою до 7,5 м та більше.

Розв'язки маршрутів в горловинах станцій за рахунок секціонування колій дозволяють знизити затримки, а спорудження постів-шлюзів затримки рухомого складу цілком не виключають, але дозволяють їх виключити повністю на основному ходу шляхом збільшення затримок поїздів, що прямують на відхилення. Тому спорудження постів-шлюзів може розглядатись як проміжний етап між розв'язками маршрутів в одному рівні без постів-шлюзів та перехрещенням в різних рівнях зі спорудженням колієпровідної розв'язки.

Після того, як проектувальники визначились з принциповою схемою колієпровідної розв'язки на підході до залізничного вузла, необхідно розробити математичну модель визначення її оптимальних конструктивних параметрів.

До основних конструктивних параметрів колієпровідної розв'язки відносять:

- кут перехрещення ліній (кут перехрещення колій у розв'язці);
- радіус кругової кривої в плані;
- марки хрестовин стрілочних переводів в місцях злиття (розгалуження) колій;
- довжину колій у розв'язці в плані (довжина траси);
- довжину перехідної кривої;
- довжину прямої вставки між кінцями перехідних кривих;
- керівний уклон;

- радіус вертикальної кривої в місцях перелому профілю.

Конструктивні параметри розв'язки впливають на витрати для її експлуатації. Зокрема від довжини розв'язки в плані (довжина траси) залежать основні витрати, пов'язані з пробігом поїздів всіх категорій, утриманням і захистом споруд колійного господарства, утриманням пристроїв СЦБ та зв'язку.

Немає сумніву в тому, що на вибір розв'язки впливають і капітальні витрати на її будівництво. Спорудження колієпровідної розв'язки може бути доцільним не одразу при примиканні або удосконаленні нових підходів до вузла, а на певному році експлуатації, коли витрати, пов'язані із затримками поїздів через ворожість маршрутів будуть більшими, ніж витрати на будівництво та експлуатацію розв'язки. У [3, 5-7] зазначено, що капітальні витрати на спорудження колієпровідної розв'язки компенсуються за рахунок економії експлуатаційних витрат приблизно через 5-10 років.

Тому у подальших оптимізаційних розрахунках як критерій оптимізації слід обрати сумарну довжину колій у розв'язці в плані (довжина траси). Вищезазначене враховано у подальшому при формуванні математичної моделі оптимізації. Числові значення у обмеженнях математичної моделі обрано на підставі норм [8, 9].

Для визначення оптимальних конструктивних параметрів розв'язок колій в залізничному вузлі сформувано математичну модель оптимізації. З позиції мінімізації сумарної довжини колій у розв'язці в плані (що призведе до мінімізації капітальних витрат на будівництво) цільову функцію запропоновано записати у такому вигляді:

$$L_i^{mp} \{ \gamma_j; R_k; \alpha_{N_m} \} = \sum_{n_1=1}^{p_1} l_{n_1}^{mp} + \sum_{n_2=1}^{p_2} l_{n_2}^{kp} + \sum_{n_3=1}^{p_3} l_{n_3}^{cn} \rightarrow \min, \quad (1)$$

де i – варіант плану колійного розвитку розв'язки;

L_i^{mp} – сумарна довжина колій у розв'язці в плані (довжина траси), м;

γ_j – кут перехрещення ліній (кут перехрещення колій у розв'язці), на j -му колієпроводі, градус;

R_k – радіус k -ї кругової кривої в плані, м;

α_{N_m} – кут відхилення бокової колії на m -му стрілочному переводі в місці злиття (розгалуження) колій в залежності від марки хрестовини (при пасажирському русі – 1/18, 1/22; при вантажному – 1/11), град;

$l_{n_1}^{mp}$ – довжина n_1 -ї прямої дільниці колії, м;

p_1 – кількість прямих дільниць колій;

$l_{n_2}^{kp}$ – довжина n_2 -ї кривої дільниці колії, м;

p_2 – кількість кривих дільниць колій;

$l_{n_3}^{cn}$ – довжина n_3 -ї дільниці колії, на яких

розташовано стрілочні переводи у відповідних напрямках, м;

p_3 – кількість дільниць колій, на яких розташовано стрілочні переводи у відповідних напрямках.

Дана задача розв'язується при таких обмеженнях:

$$\left\{ \begin{aligned} i_{en} &\leq i_{кер} = 12\%_{oo}; \Delta i_n \leq 9\%_{oo}; \\ R_k^n &\geq 3000 \text{ м (при пасажирському русі);} \\ R_k^e &\geq 1200 \text{ м (при вантажному русі);} \\ R_e^n &\geq 15000 \text{ м (при пасажирському русі);} \\ R_e^e &\geq 10000 \text{ м (при вантажному русі);} \\ \alpha_{N_m}^n &= 2,5972^\circ; 3,1822^\circ \text{ (при пасажирському русі);} \\ \alpha_{N_m}^e &= 5,2050^\circ \text{ (при вантажному русі);} \\ e &\geq 4,1 \text{ м; } L_{кор}^{zm} = 50 \text{ м;} \\ d_0 &\geq 150 \text{ м; } k_2 \geq 25 \text{ м; } c \geq 40 \text{ м;} \\ L_n &\geq 300 \text{ м; } b \geq \frac{L_n}{2} + T_e; \\ \frac{L_n}{2} &\geq \frac{L_{кпр}}{2} + T_e; l_{nl} \geq L_n; \\ L &\leq L_{nl} \geq L_{np}, \end{aligned} \right. \quad (2)$$

де i_{en} – уклон елемента профілю, ‰;

$i_{кер}$ – керівний уклон профілю, ‰;

Δi_n – алгебраїчна різниця суміжних уклонів, ‰;

R_e – радіус вертикальної кривої, м;

e – ширина між осями суміжних колій, м;

$L_{кор}^{zm}$ – корисна довжина запобіжного тупика, м;

d_0 – довжина прямої вставки між кривими дільницями колій, м;

k_2 – пряма вставка між кінцем стрілочного переводу та кривою дільницею колії, м;

c – довжина перехідної кривої, м;

L_n – довжина поділяючої площадки і елементів перехідної крутизни, м;

b – відстань від осі колієпроводу до кривої (кругової чи вертикальної), м;
 T_{ϕ} – тангенс вертикальної кривої, м;
 $L_{крп}$ – повна довжина колієпроводу, м;
 L_{nl} – довжина траси колії від точки її відхилення до середини колієпроводу, м;
 L_{np} – довжина підйомної частини колієпровідної розв'язки в профілі, де забезпечується набір потягом

необхідної висоти на колієпровід, м;
 L – проекція траси колії, що відхиляється, на основну лінію, м;
 l_{nl} – довжина елемента профілю в місці спорудження колієпроводу, м.
 Для допомоги при розрахунках розглянуто схему розв'язки на рис. 1.

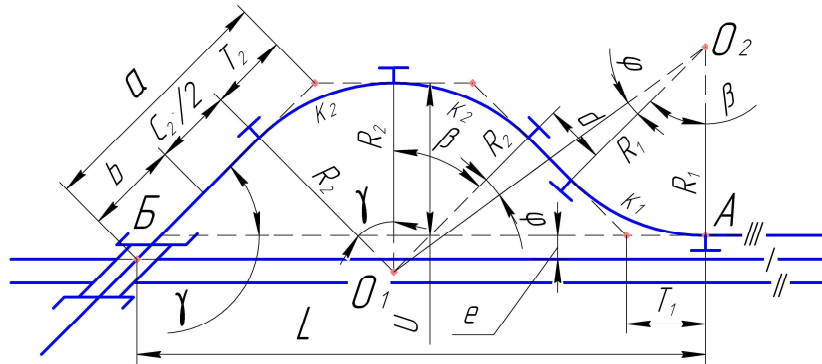


Рис. 1. Схема колієпровідної розв'язки при визначенні її конструктивних параметрів

Основні будівельні показники колієпроводів наведено у [9].

Спочатку за правилами тригонометрії визначається кут повороту колії β , що прямує на колієпровід.

Довжина траси колії від точки її відхилення до середини колієпроводу знаходиться так:

$$L_{nl} = K_1 + d + K_1 + K_2 + \frac{c_2}{2} + b; \quad (3)$$

$$K_1 = 0,017453R_1\beta;$$

$$K_2 = 0,017453R_2\gamma.$$

Проекція траси колії, що відхиляється на основну лінію, знаходиться за формулою

$$L = a \cdot \cos \gamma + 2T_2 + (T_2 + d + T_1) \cos \phi + T_1. \quad (4)$$

Довжина підйомної частини колієпровідної розв'язки в профілі, де забезпечується набір потягом необхідної висоти на колієпровід, знаходиться за формулою

$$L_{np} = \frac{l_{nl}}{2} + l_n, \quad (5)$$

де l_n – довжина підйомної частини колієпровідної розв'язки, м.

Довжина елемента профілю в місці спорудження колієпроводу

$$l_{nl} = L_{крп} + T_{\phi}^n + T_{\phi}^c, \quad (6)$$

де T_{ϕ}^n, T_{ϕ}^c – довжина тангенсів, кривих, що сполучаються між собою, підйомної та спускної частини, м. При цьому уклон спуску приймають рівним керівному $i_c = i_{кер}$, а підйом зменшують на опір руху в кривих $i_n = i_{кер} - \frac{700}{R}$.

Довжина підйомної частини колієпровідної розв'язки складає

$$l_n = \frac{H_n}{i_n}, \quad (7)$$

де H_n – висота брівки земляного полотна III колії в т. B відносно т. A (рис. 2), м.

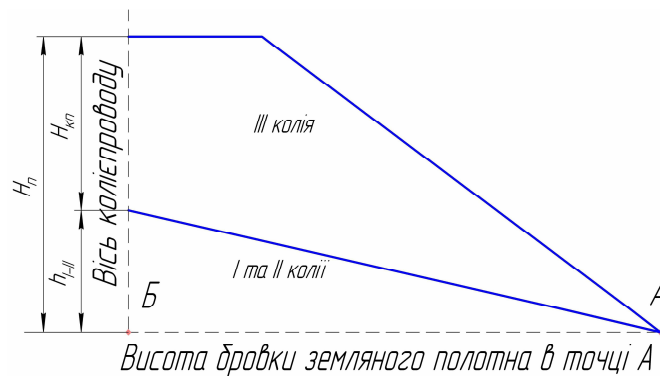


Рис. 2. Профіль колій колієпровідної розв'язки

$$H_n = h_{I-II} + H_{кп}, \tag{8}$$

де h_{I-II} – висота брівки земляного полотна I-II колії в т. Б відносно т. А, м;

$H_{кп}$ – різниця позначок головок рейок верхньої та нижньої колії, м,

$$H_{кп} = h_2 + h_{нб} + h_p, \tag{9}$$

де h_2 – відстань від головки нижньої рейки до низу конструкції, м;

$h_{нб}$ – висота прогонової будови до підшви рейок верхньої колії (будівельна висота в головному прогоні), м;

h_p – висота рейок верхньої колії, м.

Дана задача є оптимізаційною і відноситься до задач лінійного програмування.

При розв'язанні даної задачі найбільш доцільно застосувати симплекс-метод. Для цього обмеження (2) до цільової функції (1) приведено до канонічного вигляду при використанні відомих прийомів заміни рівняння двома протилежними нерівностями та зміни знаку у нерівностях.

В канонічному вигляді цільова функція така:

$$L_i^{mp} \{ \gamma_j; R_k; \alpha_{N_m} \} = - \left(\sum_{n_1=1}^{p_1} l^{np}_{n_1} + \sum_{n_2=1}^{p_2} l^{kp}_{n_2} + \sum_{n_3=1}^{p_3} l^{cn}_{n_3} \right) \rightarrow \max \tag{10}$$

з обмеженнями

$$\left\{ \begin{aligned} & i_{en} \leq i_{кер}; \Delta i_H \leq 9; \\ & -R_k^n \leq -3000; -R_k^e \leq -1200; \\ & -R_e^n \leq -15000; -R_e^e \leq 10000; \\ & \alpha_{N_m}^n \leq 3,1822; -\alpha_{N_m}^n \leq -3,1822; \\ & \alpha_{N_m}^n \leq 5,2050; -\alpha_{N_m}^n \leq -5,2050; \\ & -e \leq -4,1; L_{кор}^{zt} \leq 50; -L_{кор}^{zt} \leq -50; \\ & -d_0 \leq -150; -k_2 \leq -25; -c \leq -40; \\ & -L_n \leq -300; -b + \frac{L_n}{2} + T_e \leq 0; \\ & -\frac{L_n}{2} \leq -\frac{L_{кпр}}{2} - T_e; -l_{нл} \leq -L_n; \\ & L \leq L_{нл}; -L_{нл} \leq -L_{нр}. \end{aligned} \right. \tag{11}$$

Далі доцільно застосувати симплекс-метод, процедура виконання якого описана у [10 - 12].

Математичну модель можна реалізувати в програмних середовищах AUTOCAD.

Інженером-проектувальником у ручному режимі складається схема розв'язки (обирається тип розв'язки, кількість колій та стрілочних переводів, розташування кривих дільниць колій, наявність колієпроводів). Після за допомогою відповідного математичного апарату, що реалізований на ПЕОМ, знаходяться оптимальні конструктивні параметри розв'язки.

Для прогнозування рівня безпеки руху на розв'язці (об'єкт) необхідний показник, пов'язаний з ризиком виникнення транспортних подій. Згідно з діючим Положенням про класифікацію транспортних подій на залізницях України відомі три категорії транспортних подій: катастрофа, аварія, інцидент. Використання цих показників можливо тільки для збору певної інформації. Скласти прогноз з чисельними значеннями проблематично. В такому випадку ефективним є використання методу «дерева подій», яке допоможе виявити причинно-наслідкові зв'язки між початковою подією і її наслідком.

Найбільш важкими транспортними пригодами, з точки зору матеріального збитку, є катастрофи і аварії. Причини, які можуть призвести до них, можна систематизувати і узагальнити в дві групи – зіткнення і сходження рухомого складу. Наслідки зіткнення і сходження рухомого складу систематизуються в окремі категорії. При виникненні серйозних інцидентів та інцидентів також є певний ряд наслідків, причини яких також відносяться як до катастроф, так і аварій. Однак ці наслідки не мають такого обтяжливого характеру, як катастрофи і аварії.

Гармонізація процесів оцінки ризиків серед країн-членів ЄС не передбачає створення конкретних критеріїв аналізу ризиків.

В роботі [13] подано систему розумної оцінки залізничних ризиків з використанням підходу нечіткого міркування. Система імітує здатність розуму людини ефективно використовувати способи міркування. Але способи міркування є приблизними, а не точними.

У праці [14] автори пропонують новий метод корисного аналізу: часовий аналіз дерева несправностей. Метод дає змогу спрогнозувати, скільки часу залишилося для усунення кореневої несправності для можливості запобігання нещасним випадкам. Однак метод не вирішує проблему усунення першопричин несправностей і є найбільш зручним лише на етапі ідентифікації небезпек.

В [15] запропонована кількісна модель оцінки ризику, яка ґрунтується на сценаріях аварій. Модель дозволить ідентифікувати ділянки полігону залізниць, які потребують додаткового контролю за рівнем ризиків. Подана модель потребує покращення рівня моделювання людських факторів та використання більш складних методів статистичного аналізу з можливістю обробки обмежених вхідних даних.

В нашому випадку при визначенні ймовірності виникнення катастрофи та аварії на об'єкті можна застосувати методику [16]. Рівень ймовірності виникнення транспортних подій (катастроф і аварій) на об'єкті можна розрахувати, розглянувши всі ділянки станції, які задіяні під час руху поїздів.

Таким чином, можна розрахувати, наскільки безпечний для проходження потягу той чи інший маршрут, прорахувати ймовірність виникнення транспортних подій на об'єкті в цілому. Також є можливість виявити вузькі місця на об'єкті і в подальшому визначити доцільність фінансування в них.

Знаючи ймовірність виникнення транспортних подій, можна тільки оцінити рівень безпеки в певний період часу. Але система повинна управляти цими ризиками, що має велику практичну цінність.

У класичному мультипликативному вигляді величина ризику визначається як добуток ймовірності виникнення транспортної події певної категорії на

величину збитку від його виникнення. Величину збитку можна визначити згідно зі статистикою пригод, а також методом експертних оцінок.

Для управління ризиками виникнення транспортних пригод на об'єкті інфраструктури залізничного транспорту сформована математична модель оптимізації. З позиції оптимального розподілу ресурсів в об'єкті інфраструктури для досягнення допустимого рівня ризику цільову функцію запропоновано записати в загальному вигляді

$$R_r = f(m) = P_r(T) \cdot S_r \leq R_d, \quad (12)$$

де $P_r(T)$ – ймовірність виникнення транспортної події i -категорії за розрахунковий час T ;

S_r – розмір матеріальної шкоди від виникнення транспортної події r -категорії;

R_d – допустимий рівень ризику виникнення транспортної події при обмеженні

$$0 < P_r(T) < 1. \quad (13)$$

Керуючою змінною в даній цільовій функції є грошові кошти m , які вкладаються в об'єкти інфраструктури для досягнення допустимого рівня ризику. Під розрахунковим часом T розуміють періоди: доба; місяць; квартал; інший період, необхідний для аналізу.

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку

Подано математичну модель визначення оптимальних конструктивних параметрів розв'язок колій в залізничних вузлах з позиції ресурсозбереження. Модель базується на мінімізації капітальних витрат у будівництво колієпровідної розв'язки при оптимальних кутах перехрещення колій, радіусах кривих дільниць та марках стрілочних переводів. За результатами моделювання отримуються оптимальні конструктивні параметри розв'язок. Отримані результати використовуються у подальшому при визначенні економічного ефекту при виборі проектного рішення щодо удосконалення конструкції заданої колієпровідної розв'язки.

Для управління ризиками виникнення транспортних пригод на колієпровідній розв'язці сформовано математичну модель оптимізації з цільовою функцією та обмеженнями. Цільова функція прагне до підтримки ризику на допустимому рівні, а не зведення його до повної відсутності. Оскільки грошові ресурси на залізницю повинні витрачатися оптимально, то непередумані вкладення можуть привести до підвищенню витрат в безпеку руху.

Завдання розробки системи, яка дасть можливість оптимально розподілити ресурси і при цьому дотримуватися необхідного рівня ризику для залізниць України, є актуальним на сьогоднішній день.

Список використаних джерел

1. Пазойский, Ю. О. Организация пассажирских перевозок на железнодорожном транспорте (в примерах и задачах) [Текст] / Ю. О. Пазойский, Л. С. Рябуха, В. Г. Шубко; под ред. В. Г. Шубко. – М. : Транспорт, 1990. – 240 с.
2. Пасажирські перевезення (залізничний транспорт) [Текст] : навч. посібник / Т. В. Бутько, О. А. Малахова, А. В. Прохорченко, Д. В. Константінов. – Харків : Райдер, 2014. – 260 с.
3. Корнаков, А. М. Развязки железнодорожных линий в узлах [Текст] / А. М. Корнаков. – М. : Трансжелдориздат, 1962. – 154 с.
4. Модели, методы и алгоритмы автоматизированного проектирования железнодорожных станций [Текст] : монографія / В. И. Бобровский, Д. Н. Козаченко, Р. В. Вернигора, В. В. Малашкин. – Днепропетровск : Маковецкий, 2010. – 156 с.
5. Инструкция по проектированию станций и узлов на железных дорогах Союза ССР [Текст] : ВСН 56-78/МПС СССР. – Изд. офиц. – М. : Транспорт, 1978. – 174 с.
6. Железнодорожные станции и узлы (задачи, примеры, расчеты) [Текст] : учеб. пособие / Н. В. Правдин, Т. Н. Банек, В. Я. Негрей [и др.] ; под общ. ред. Н. В. Правдина. – М. : Транспорт, 1984. – 296 с.
7. Железнодорожные станции и узлы (задачи, примеры, расчеты) [Текст] : учеб. пособие / Н. В. Правдин, В. Г. Шубко, Е. В. Архангельский [и др.] ; под общ. ред. Н. В. Правдина и В. Г. Шубко. – М. : Маршрут, 2005. – 502 с.
8. Галузеві будівельні норми України. Споруди транспорту. Сортувальні пристрої залізниць. Норми проектування [Текст] : ГБН В.2.3-37472062-1:2012 : затв. Міністерством інфраструктури України 17.01.2013 : замість ВСН 207-89/МПС СССР: чинні від 01.03.2013. – К. [б. в.], 2012. – 112 с.
9. Проектирование железнодорожных станций и узлов [Текст] : справ. и метод. пособие / под ред. А. М. Козлова и К. Г. Гусевой. – М. : Транспорт, 1981. – 592 с.
10. Вагнер, Г. Основы исследования операций [Текст] / Г. Вагнер. – М. : Мир, 1973. – Т. 1. – 336 с.
11. Вагнер, Г. Основы исследования операций [Текст] / Г. Вагнер. – М. : Мир, 1973. – Т. 2. – 488 с.
12. Вагнер, Г. Основы исследования операций. [Текст] / Г. Вагнер. – М. : Мир, 1973. – Т. 3. – 502 с.
13. An, M. An intelligent railway safety risk assessment support system for railway operation and maintenance analysis [Text] / M. An, S. Huang, W. Ling // The Open Transportation Journal. – 2013. – Vol. 7. – P. 42–47.
14. Risk assessment of railway transportation systems using Timed Fault Trees [Electronic resource] / Z. Peng, Y. Lu, A. Miller et al. // Quality and Reliability Engineering International. – 2014. – P. 181–191. doi: 10.1002/qre.1738
15. Leitner, B. A general model for railway systems risk assessment with the use of railway accident scenarios analysis [Electronic resource] / B. Leitner // Procedia Engineering. – 2017. – Vol. 187. – P. 150–159. doi: [10.1016/j.proeng.2017.04.361](https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.04.361)
16. Управление рисками возникновения транспортных происшествий на железнодорожном транспорте [Текст] / А. В. Розсоха, Ю. В. Смачило // Management, safety and ecology. Education public science. : Proceedings of the International scientific technical conference. Volume 3. / Bulgaria, Scientific technical union of mechanical engineering “Industry-4.0” – Veliko Tarnovo : Scientific technical union of mechanical engineering “Industry-4.0”, 2017. – С. 252–254.

А. В. Розсоха, Ю. В. Смачило, Е. М. Павленко. Оптимизация конструкции развязок подходов железнодорожного узла для условий скоростного движения поездов. В статье обобщена и получила дальнейшее развитие теория проектирования объектов транспортной инфраструктуры на примере развязок подходов к железнодорожному узлу. Представлена математическая модель определения оптимальных конструктивных параметров развязок путей в железнодорожных узлах с позиции ресурсосбережения и обеспечения безопасности движения. Действующие методы расчета путепроводных развязок направлены на построение геометрических форм без проведения оптимизационных расчетов по определению конструктивных параметров. Модель базируется на минимизации капитальных затрат в строительство путепроводной развязки при оптимальных углах пересечения путей, радиусах кривых участков и марках крестовин стрелочных переводов. Представлена в общем виде модель управления рисками возникновения транспортных происшествий на подходах к узлу.

Ключевые слова: путепроводные развязки, подходы к узлу, оптимизация.

O. Rozsokha, J. Smachilo, O. Pavlenko. Optimization of railway junction construction in conditions of high-speed traffic. The theory of the transport infrastructure objects design is generalized and further developed in the example of the railway junction. A mathematical model for determining optimal design parameters for road junctions in railway junctions from the position of resource saving and ensuring traffic safety is presented. The current methods for calculating overpasses are aimed at constructing geometric shapes without carrying out optimization calculations to determine the design parameters. The model is based on the minimization of capital costs in the construction of a roadside intersection at optimal intersection angles, radiuses of curve sections and marks of crosses of turnouts. A general model of risk management for the occurrence of transport accidents on the approaches to the node is presented.

The aim of this work is to improve the efficiency of rail passenger services in the implementation of high-speed highways. One of the many areas of these measures is to improve the design of rail track solution nodes.

Solutions track called complex devices and structures (koliyeprovodiv), for admission of rolling stock on the routes that intersect each other.

The main design parameters koliyeprovidnoyi solutions include:

- The angle of intersection lines (angle of intersection of interchange tracks);
- Radius of circular curve in the plan;
- Marks point frogs at the confluence (branching) tracks;
- Length tracks in terms of interchange (length of the route);
- The length of the transition curve;
- The length of the line insertion between the ends of transition curves;
- Steering bows;
- The radius of vertical curve at the fracture site profile.

Before modeling designer previously manually scheme consists junction (junction type is chosen, the number of tracks and switches, position curves stations tracks the availability circle of wire). Next, using the appropriate mathematical apparatus that is implemented on the computer, there are optimal design parameters of solutions.

According to the simulation results obtained optimal design parameters of the solution. The results are used further in determining the economic benefit in selecting design solution to improve the design of a given circle leading solutions.

Key words: overbridge, approach to junction, optimization.

Розсоха Олександр Володимирович, кандидат технічних наук, доцент кафедри залізничних станцій та вузлів, Український державний університет залізничного транспорту. E-mail: rozsoha@kart.edu.ua ORCID ID <https://orcid.org/0000-0001-6281-0226>

Смачило Юлія Володимирівна, аспірант кафедри залізничних станцій та вузлів, Український державний університет залізничного транспорту. E-mail: lups92@rambler.ru ORCID ID <https://orcid.org/0000-0003-1042-2170>

Павленко Олена Михайлівна, магістрант кафедри залізничних станцій та вузлів, Український державний університет залізничного транспорту. E-mail: 1990-lena@mail.ru

Rozsokha Olexandr, Associate Professor, Doctor of Science (Ph.D.), Ukraine State University of Railway Transport. E-mail: rozsoha@kart.edu.ua ORCID ID <https://orcid.org/0000-0001-6281-0226>

Smachilo Julia, Ph.D. Student, Ukraine State University of Railway Transport. E-mail: lups92@rambler.ru ORCID ID <https://orcid.org/0000-0003-1042-2170>

Pavlenko Olena, magistrand of Chair «Railway Stations and Junctions», Ukraine State University of Railway Transport. E-mail: 1990-lena@mail.ru

Надійшла 02.04.2018 р.