

УДК 656.2.022.846

ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ РОЗВ'ЯЗОК КОЛІЙ В ЗАЛІЗНИЧНИХ ВУЗЛАХ

Кандидати техн. наук О. В. Розсоха, І. В. Берестов, Г. В. Шаповал,
магістрант З. З. Мамедов

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ РАЗВЯЗОК ПУТЕЙ В ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ УЗЛАХ

Кандидаты техн. наук А. В. Розсоха, И. В. Берестов, А. В. Шаповал,
магистрант З. З. Мамедов

DETERMINATION OF OPTIMUM DESIGN PARAMETERS INTERCHANGE TRACK IN RAILWAY STATIONS

Associate Professors, Doctors of Science (Ph.D.) O. Rozsokha, I. Berestov, A. Shapoval,
Magistrand Z. Mamedov

У статті подано математичну модель визначення оптимальних конструктивних параметрів розв'язок колій в залізничних вузлах з позиції ресурсозбереження. Існуючі методи розрахунку колієпровідних розв'язок, що розроблені відомими вченими, були 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 стрілочних переводів.

Ключові слова: колієпровідні розв'язки, з'єднання колій, оптимізація.

В статье представлена математическая модель определения оптимальных конструктивных параметров развязок путей в железнодорожных узлах с позиции ресурсозбережения. Существующие методы расчета путепроводных развязок, разработанные известными учеными, были направлены на построение геометрических форм без проведения оптимизационных расчетов по определению конструктивных параметров путепроводных развязок. Модель базируется на минимизации капитальных затрат в строительство путепроводной развязки при оптимальных углах пересечения путей, радиусах кривых участков и марках стрелочных переводов.

Ключевые слова: путепроводные развязки, соединения путей, оптимизация.

The paper presents a mathematical model for determining the optimum design data interchange tracks in railway stations with the position of resource. Existing methods of calculating the viaduct junctions, designed by renowned scientists have focused on the construction of geometric shapes without carrying out optimization calculations to determine the design parameters of viaduct junctions. The model is based on minimizing capital expenditure in the construction of viaduct interchange at the intersection of the best ways angles, radii of curved sections and brands of turnouts.

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 (kolyeprovodiv), for admission of rolling stock on the routes that intersect each other.

The main design parameters kolyeprovodnoyi 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.

Keywords: *viaduct interchange, connect railway tracks, optimization.*

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 щодо підвищення привабливості залізничних перевезень пасажирів шляхом впровадження високошвидкісних магістралей (ВШМ) [1-4].

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 значне число рішень з розподілу підходів вантажонапружених залізничних магістралей в крупних вузлах припадає на частку колієпровідних розв'язок ліній. Особливо підвищується їх

роль в умовах зростання швидкостей руху пасажирських поїздів.

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. [5-10].

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 отримали розвиток тільки на початку XXI сторіччя.

Засновниками теорії розрахунку колієпровідних розв'язок були відомі вчені: Образцов В. М., Корнаков А. М. та Земблінов С. В. У [9] авторами узагальнено відомі на той час методики розрахунку конструктивних параметрів розв'язок та надано класифікацію залізничних вузлів, яка в основному діє і до теперішнього часу. 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 з роками удосконалювали.

У [10] 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 подання схем станцій у вигляді орієнтовних графів.

Існуючі методи розрахунку колієпровідних розв'язок, що розроблені вищеназваними 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 чинять вплив 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; напрямки 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 різностей 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 ході за рахунок 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 у місцях злиття (розгалуження) колій;

- довжина колій у розв'язці в плані (довжина траси);
- довжина перехідної кривої;
- довжина прямої вставки між кінцями перехідних кривих;
- керівний уклон;
- радіус вертикальної кривої в місцях перелому профілю.

Конструктивні параметри розв'язки впливають на витрати на її експлуатацію. 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 [9, 11-13] 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 [14, 15].

Для визначення оптимальних конструктивних параметрів розв'язок колій в залізничному вузлі сформовано 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:

$$L_i^{mp} \{ \gamma_j; R_k; \alpha_{N_m} \} = \sum_{n_1=1}^{P_1} l_{n_1}^{np} + \sum_{n_2=1}^{P_2} l_{n_2}^{kp} + \sum_{n_3=1}^{P_3} l_{n_3}^{cn} \rightarrow \min, \quad (1)$$

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;

$l_{n_1}^{np}$ – довжина n_1 -ї прямої ділянки колії, м;

P_1 – кількість прямих ділянок колій;

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

P_2 – кількість кривих ділянок колій;

$l_{n_3}^{cn}$ – довжина n_3 -ї ділянки колії, на яких розташовано стрілочні переводи у відповідних напрямках, м;

P_3 – кількість ділянок колій, на яких розташовано стрілочні переводи у відповідних напрямках.

Дана задача розв'язується при таких обмеженнях:

$$\left\{ \begin{array}{l} i_{en} \leq i_{кер} = 12\text{‰}; \Delta i_H \leq 9\text{‰}; \\ R_k^n \geq 3000 \text{ м (при пасажирському русі);} \\ R_k^g \geq 1200 \text{ м (при вантажному русі);} \\ R_g^n \geq 15000 \text{ м (при пасажирському русі);} \\ R_g^g \geq 10000 \text{ м (при вантажному русі);} \\ \alpha_{N_m}^n = 2,5972^\circ; 3,1822^\circ \text{ (при пасажирському русі);} \\ \alpha_{N_m}^g = 5,2050^\circ \text{ (при вантажному русі);} \\ e \geq 4,1 \text{ м}; L_{кор}^{zm} = 50 \text{ м}; \\ d_0 \geq 150 \text{ м}; k_2 \geq 25 \text{ м}; c \geq 40 \text{ м}; \\ L_H \geq 300 \text{ м}; b \geq \frac{L_H}{2} + T_g; \\ \frac{L_H}{2} \geq \frac{L_{кпр}}{2} + T_g; l_{пл} \geq L_H; \\ L \leq L_{пл} \geq L_{пр}, \end{array} \right. \quad (2)$$

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

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

Δi_H – алгебраїчна різниця суміжних уклонів, ‰;

R_g – радіус вертикальної кривої, м;

e – ширина між осями суміжних колій, м;

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

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

k_2 – пряма вставка між кінцем стрілочного перевалу та кривою дільницею колій, 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_e – тангенс вертикальної кривої, м;

$L_{кпр}$ – повна довжина колієпроводу, м;

$L_{нл}$ – довжина траси колії від точки її відхилення до середини колієпроводу, м;

$L_{пр}$ – 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;

$l_{нл}$ – довжина елемента профілю в місці спорудження колієпроводу, м.

При визначенні складових вищезазначених обмежень для більш доступного сприйняття інформації розглянуто схему розв'язки на рис. 1.

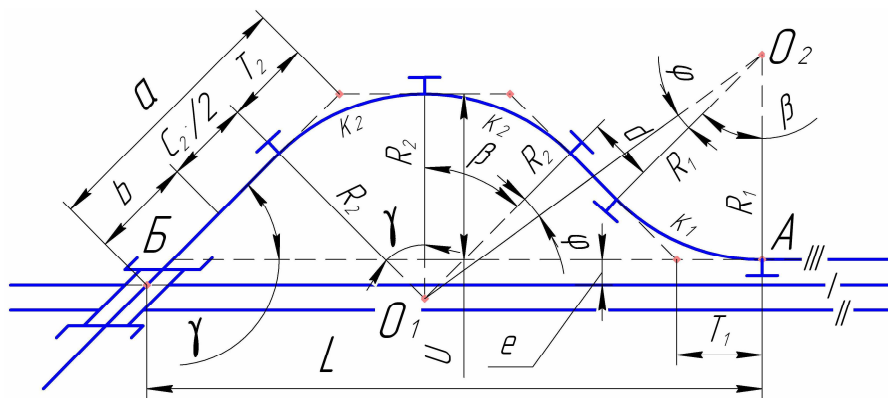


Рис. 1. Схема колієпровідної розв'язки для візуалізації при визначенні її конструктивних параметрів

Основні будівельні показники колієпроводів наведено у [15].

Кут повороту колії β , що прямує на колієпровід, знаходиться за формулами:

$$\left\{ \begin{array}{l} \beta = \arccos\left(\frac{2R_1 - U}{2R_1} \cos \varphi\right) - \varphi; \\ U = a \sin \gamma - 1,5e; \quad a = b + \frac{c_2}{2} + T_2; \\ b = \frac{L_n}{2} + T_e; \quad T_e = \frac{R_e \Delta i_n}{2 \cdot 1000}; \\ T_2 = R_2 \operatorname{tg} \frac{\gamma}{2}; \quad \varphi = \operatorname{arctg} \frac{d}{2R_1}; \\ d = \frac{c_1}{2} + d_0 + \frac{c_2}{2}. \end{array} \right. \quad (3)$$

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

$$\begin{aligned} L_{nl} &= K_1 + d + K_1 + K_2 + \frac{c_2}{2} + b; \\ K_1 &= 0,017453R_1\beta; \\ K_2 &= 0,017453R_2\gamma. \end{aligned} \quad (4)$$

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

$$L = a \cdot \cos \gamma + 2T_2 + (T_2 + d + T_1) \cos \varphi + T_1. \quad (5)$$

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

$$L_{np} = \frac{l_{nl}}{2} + l_n, \quad (6)$$

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

Довжина елемента профілю в місці спорудження колієпроводу

$$l_{nl} = L_{кпр} + T_{\theta}^n + T_{\theta}^c, \quad (7)$$

де $T_{\theta}^n, T_{\theta}^c$ – 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 колієпроводної розв'язки складає

$$l_n = \frac{H_n}{i_n}, \quad (8)$$

де H_n – висота бровки земляного полотна III колії в т. Б відносно т. А (рис. 2), м.

$$H_n = h_{I-II} + H_{кп}, \quad (9)$$

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

$H_{кп}$ – різниця позначок головок рейок верхньої та нижньої колії (рис. 3), м

$$H_{кп} = h_z + h_{нб} + h_p, \quad (10)$$

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

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

h_p – висота рейок верхньої колії, м.

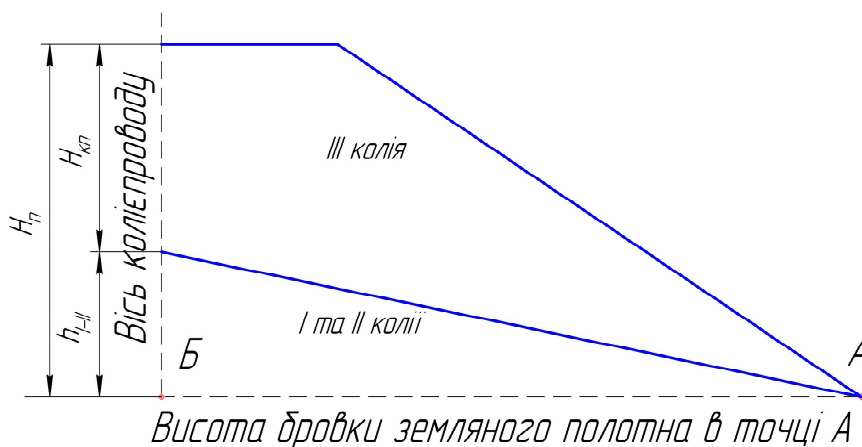


Рис. 2. Профіль колій колієпроводної розв'язки

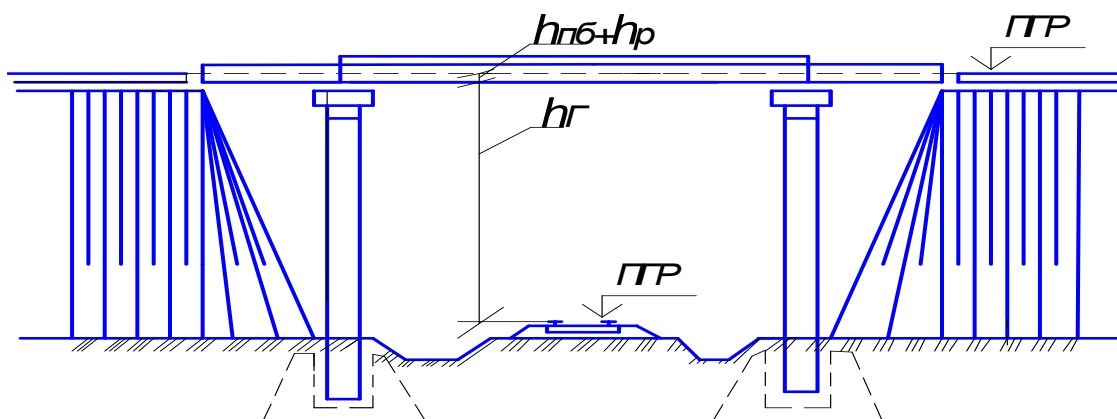


Рис. 3. Загальний вигляд колієпроводу у двох рівнях

Вищезазначена оптимізаційна задача відноситься до задач лінійного програмування, оскільки має цільову функцію та обмеження лінійного характеру.

При розв'язанні даної задачі найбільш доцільно застосувати симплекс-метод. Для цього обмеження (2) до цільової

функції (1) приведено до канонічного вигляду, причому використано відомі прийоми заміни рівняння двома протилежними нерівностями та зміни знаку у нерівностях.

В канонічному вигляді цільова функція буде мати вигляд

$$L_i^{mp} \{ \mathcal{Y}_j; R_k; \alpha_{N_m} \} = - \left(\sum_{n_1=1}^{p_1} l^{np}_{n_1} + \sum_{n_2=1}^{p_2} l^{kp}_{n_2} + \sum_{n_3=1}^{p_3} l^{cn}_{n_3} \right) \rightarrow \max \quad (11)$$

з обмеженнями

$$\left\{ \begin{array}{l} i_{en} \leq i_{кер}; \Delta i_H \leq 9; \\ -R_k^n \leq -3000; -R_k^6 \leq -1200; \\ -R_6^n \leq -15000; -R_6^6 \leq 10000; \\ \alpha_{N_m}^n \leq 3,1822; -\alpha_{N_m}^n \leq -3,1822; \\ \alpha_{N_m}^n \leq 5,2050; -\alpha_{N_m}^n \leq -5,2050; \\ -e \leq -4,1; L_{кор}^{zm} \leq 50; -L_{кор}^{zm} \leq -50; \\ -d_0 \leq -150; -k_2 \leq -25; -c \leq -40; \\ -L_H \leq -300; -b + \frac{L_H}{2} + T_6 \leq 0; \\ -\frac{L_H}{2} \leq -\frac{L_{кпр}}{2} - T_6; -l_{nl} \leq -L_H; \\ L \leq L_{nl}; -L_{nl} \leq -L_{np}. \end{array} \right. \quad (12)$$

Далі доцільно застосувати симплекс-метод, процедура виконання якого описана у будь-якому математичному джерелі, наприклад [16-18].

Математичну модель можна реалізувати в програмних середовищах C++, КОМПАС.

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

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку. Розроблено математичну модель визначення оптимальних конструктивних параметрів розв'язок колій в залізничних вузлах з позиції ресурсозбереження. Модель базується на мінімізації капітальних витрат у будівництво коліспровідної 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 коліспровідної розв'язки.

Список використаних джерел

1. Розсоха, О. В. Моделювання пасажирських поїздопотоків високошвидкісних залізничних магістралей [Текст] / О. В. Розсоха, В. М. Солонець // Зб. наук. праць Укр. держ. ун-ту заліз. тр-ту. – Харків: УкрДУЗТ, 2015. – Вип. 154. – С. 5–13.
2. Розсоха, О. В. Аналіз функціонування систем управління безпекою руху поїздів на залізницях країн Євросоюзу [Текст] / О.В. Розсоха, Ю.В. Смачило // Зб. наук. праць Укр. держ. ун-ту заліз. тр-ту. – Харків: УкрДУЗТ, 2015. – Вип. 151. – С. 4–11.
3. Розсоха, А. В. Функционирование систем управления безопасностью движения на железных дорогах Украины и России [Текст] / А. Н. Огарь, Ю. О. Пазойский, А. В. Розсоха, А. А. Сидраков, Ю. В. Смачило // Зб. наук. праць Укр. держ. ун-ту заліз. тр-ту. – Харків: УкрДУЗТ, 2015. – Вип. 156. – С. 18–28.
4. Jose, A. Gomes-Ibanez, Gines de Rus. Competition in the Railway Industry. An International Comparative Analysis [Text] / Jose A. Gomes-Ibanez, Gines de Rus. – Massachusetts. : Edward Elgar Publishing Limited, 2006. – 201 p.
5. 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.
6. Грунтов, П. С. Управление эксплуатационной работой и качеством перевозок [Текст]: учеб. для вузов / под. ред. П. С. Грунтова. – М. : Транспорт, 1994. – 544 с.
7. Кочнев, Ф. П. Управление эксплуатационной работой железных дорог [Текст]: учеб. пособие для вузов / Ф. П. Кочнев, И. Б. Сотников. – М. : Транспорт, 1990. – 424 с.
8. Бутько, Т. В. Пасажирські перевезення (залізничний транспорт) [Текст]: навч. посібник / Т. В. Бутько, О. А. Малахова, А. В. Прохорченко, Д. В. Константінов. – Харків: Райдер, 2014. – 260 с.
9. Корнаков, А. М. Развязки железнодорожных линий в узлах [Текст] / А. М. Корнаков. – М.: Трансжелдориздат, 1962. – 154 с.

10. Бобровский, В. И. Модели, методы и алгоритмы автоматизированного проектирования железнодорожных станций [Текст]: монографія / В.И. Бобровский, Д.Н. Козаченко, Р. В. Вернигора, В. В. Малашкин. – Дніпропетровськ: Маковецький, 2010. – 156 с.
11. Инструкция по проектированию станций и узлов на железных дорогах Союза ССР [Текст]: ВСН 56-78/МПС СССР. – Изд. офиц. – М.: Транспорт, 1978. – 174 с.
12. 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.
13. 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.
14. 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.
15. Проектирование железнодорожных станций и узлов [Текст]: справ. и метод. пособие / под ред. А.М. Козлова и К.Г. Гусевой. – М.: Транспорт, 1981. – 592 с.
16. Вагнер, Г. Основы исследования операций [Текст] / Г. Вагнер. – М.: Мир, 1973. – Т. 1. – 336 с.
17. Вагнер, Г. Основы исследования операций [Текст] / Г. Вагнер. – М.: Мир, 1973. – Т. 2. – 488 с.
18. Вагнер, Г. Основы исследования операций [Текст] / Г. Вагнер. – М.: Мир, 1973. – Т. 3. – 502 с.

Розсоха Олександр Володимирович, канд. техн. наук, доцент кафедри залізничних станцій та вузлів Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-42. E-mail: s4749@ukr.net.
Берестов Ігор Вячеславович, канд. техн. наук, доцент кафедри залізничних станцій та вузлів Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-42. E-mail: i.berestov@mail.ru.
Шаповал Ганна Василівна, канд. техн. наук, доцент кафедри залізничних станцій та вузлів Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-42. E-mail: ann.shapoval@ukr.net.
Мамедов Зія Закір огли, магістрант кафедри залізничних станцій та вузлів Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-42. s4749@ukr.net.

Rozsokha Olexandr, Associate Professor, Doctor of Science (Ph.D.), Ukraine State University of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-42. E-mail: s4749@ukr.net.

Berestov Igor, Associate Professor, Doctor of Science (Ph.D.), Ukraine State University of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-42. E-mail: i.berestov@mail.ru.

Shapoval Ganna, Associate Professor, Doctor of Science (Ph.D.), Ukraine State University of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-42. E-mail: ann.shapoval@ukr.net.

Mamedov Zyia, magistrand of Chair «Railway Stations and Junctions», Ukraine State University of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-42. s4749@ukr.net.

Стаття прийнята 09.12.2016 р.