Збірник наукових праць. Вип. 29. 2025 р.

УДК 656.22:[004.9:002]

В. В. МАЛАШКІН[1]*, М. І. БЕРЕЗОВИЙ[2]*, І. Я. СКОВРОН[3]*, О. А. НАЗАРОВ[4]*, Л. О. ЄЛЬНІКОВА[5]*

[1*] Каф. «Транспортні вузли», Український державний університет науки і технологій, вул. Лазаряна, 2, 49010, м. Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (068) 409 61 85, ел. пошта v.v.malashkin@ust.edu.ua, ORCID 0000-0002-5650-1571
[2*] Каф. «Транспортні вузли», Український державний університет науки і технологій, вул. Лазаряна, 2, 49010, м. Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 371 51 03, ел. пошта: m.i.berezovyi@ust.edu.ua, ORCID 0000-0001-6774-6737
[3*]Каф. «Транспортні вузли», Український державний університет науки і технологій, вул. Лазаряна, 2, 4901 0, м. Дніпро, Україна,49010, тел. +38 (095) 230 50 34, ел. пошта: i.y.skovron@ust.edu.ua, ORCID 0000-0003-0697-2698
[4*]Каф. «Транспортні вузли», Український державний університет науки і технологій, вул. Лазаряна, 2, 49010, м. Дніпро, Україна, тел. +38 (067) 636 43 22, ел. пошта o.a.nazarov@ust.edu.ua, ORCID 0000-0001-8837-2041
[5*]Каф. «Транспортні вузли», Український державний університет науки і технологій, вул. Лазаряна, 2, 49010, м. Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (096) 489 76 25, ел. пошта: l.o.yelnikova@ust.edu.ua, ORCID 0000-0002-7657-2879

ВИКОРИСТАННЯ КОМП'ЮТЕРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ КАМЕРАЛЬНОЇ ОБРОБКИ ЕЛЕМЕНТІВ ЗАЛІЗНИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ ПРИ ПІДГОТОВЦІ ТЕХНІЧНОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ

Мета. Під час розробки технічних паспортів під'їзних колій промислових підприємств, а також підготовки масштабних схем головних колій на перегонах та станційних колій магістрального залізничного транспорту, на першому етапі застосовується геодезична зйомка колійного розвитку об'єктів, що підлягають паспортизації. При цьому якомога більш точне встановлення радіусів кривих ділянок колій з одного боку є достатньо трудомісткою задачею, з іншого боку наявність кривих з перемінним радіусом ускладнює її вирішення і може призводити до отримання невірних результатів. Метою дослідження є розробка методу визначення параметрів кругових кривих, що сполучають суміжні прямолінійні ділянки залізничних колій, за результатами геодезичної зйомки. Програмна реалізація запропонованого методу у середовищі AutoCAD дозволить автоматизувати процес синтезу криволінійних ділянок колій на кресленнях та прискорити формування планів колійного розвитку станцій, головних, з'єднувальних колій та під'їзних колій промислових підприємств. **Методи дослідження.** При виконанні досліджень використані методи аналітичної геометрії. **Результати.** У теперішній час при існуючому рівні розвитку комп'ютерних та інформаційних технологій, для виконання технічної паспортизації залізничних колій доцільним є використання автоматизованих систем проєктування, які дозволяють ефективно обробляти результати геодезичної зйомки та формувати потрібні креслення. При цьому значний час при підготовці планів колійного розвитку під'їзних колій займають операції з визначення достовірних параметрів кривих ділянок колій. Встановлено, що на це витрачається в середньому 35 хв на 1 км розгорнутої довжини колій. У цьому зв'язку запропоновано метод підбору найкращих параметрів кривих ділянок колій за результатами геодезичної зйомки, який реалізований у вигляді програмного модуля до системи автоматизованого проєктування AutoCAD. Експерименти з даним модулем показали високу його ефективність, що дозволило скоротити час на камеральну обробку кривих ділянок залізничних колій до 5 хв у перерахунку на 1 км розгорнутої їх довжини та підвищити якість отриманих результатів. **Наукова новизна** полягає в удосконаленні методу визначення достовірних параметрів кругових кривих, що сполучають суміжні прямолінійні ділянки залізничних колій, за результатами геодезичної зйомки засобами сучасних комп'ютерних технологій. **Практична значимість** полягає у програмній реалізація запропонованого методу у середовищі AutoCAD, що дозволяє автоматизувати процес синтезу криволінійних ділянок колій та прискорити формування планів колійного розвитку станцій, головних, з'єднувальних колій та під'їзних колій промислових підприємств.

Ключові слова: залізнична колія, геодезична зйомка, камеральна обробка, автоматизація, комп'ютерні технології

Вступ

Оцінка параметрів колійного розвитку залізничних станцій, головних, з'єднувальних та інших колій магістрального і промислового транспорту, зокрема визначення радіусів кривих існуючих колій, залишається актуальною задачею.

Значення параметрів залізничних колій, таких як радіуси кривих, довжини перехідних кривих за їх наявності, профіль колій та радіуси вертикальних кривих впливають на умови організації руху і являються визначальними при

doi: 10.15802/tstt2025/325359

© Малашкін В. В., Березовий М. І., Сковрон І. Я., Назаров О. А., Єльнікова Л. О., 2025

встановленні вагових норм, швидкостей руху, норм закріплення рухомого складу, а у деяких випадках на під'їзних коліях – і типу рухомого складу, дозволеного для пересування коліями за умовами вписування.

При цьому виникає задача прискорення процесу та підвищення точності визначення радіусів існуючих кругових, довжини перехідних кривих, точок початку та кінця кривих.

У даній статті розглянуто алгоритм рішення задачі визначення радіусів кривих ділянок залізничних колій за матеріалами геодезичної зйомки та програмне забезпечення, призначене для прискорення процесу камеральної обробки результатів зйомки колійного розвитку під'їзних колій промислових підприємств. Дане програмне забезпечення дозволяє прискорити процес підготовки креслень в середовищі AutoCAD.

Постановка завдання дослідження

Під час розробки технічних паспортів під'їзних колій промислових підприємств, а також підготовки масштабних схем головних колій на перегонах та станційних колій магістрального залізничного транспорту, на першому етапі застосовується геодезична зйомка колійного розвитку об'єктів, що підлягають паспортизації. При цьому якомога більш точне встановлення радіусів кривих ділянок колій з одного боку є достатньо трудомісткою задачею, з іншого боку наявність кривих з перемінним радіусом ускладнює її вирішення і може призводити до отримання невірних результатів.

На практиці криві ділянки, що на своєму протязі мають відрізки з кривизною, що різняться на понад 15…20 м, розбивають на кілька кривих різних радіусів, у цьому випадку з однорадіусної крива стає багаторадіусною, або складовою [1]. У випадку якщо в межах однієї кривої ділянки радіуси суміжних відрізків відрізняються несуттєво – до 10…15 м, то розраховується радіус кривої, який би мінімально відрізнявся від радіусів суміжних відрізків.

У зв'язку з цим, завданням дослідження є розроблення методу обробки результатів геодезичної зйомки для отримання значень радіусів кривих ділянок залізничних колій.

Мета дослідження

Метою дослідження є розробка методу визначення параметрів кругових кривих, що сполучають суміжні прямолінійні ділянки залізничних колій, за результатами геодезичної зйомки. Програмна реалізація запропонованого методу у середовищі AutoCAD дозволить автоматизувати процес синтезу криволінійних ділянок колій на кресленнях та прискорити формування планів колійного розвитку станцій, головних, з'єднувальних колій та під'їзних колій промислових підприємств.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Способи вимірювання радіусів кривих залізничних колій.

Існує кілька основних способів вимірювання радіусів кривих ділянок залізничних колій, що широко використовуються на практиці і класифікуються за методами отримання даних та використовуваними інструментами.

Динамічні методи основуються на використанні спеціалізованих колієвимірювальних вагонів, обладнаних датчиками; радіуси кривих ділянок визначаються на основі вимірювання бокових прискорень, величини яких залежать від значення бокової сили притиснення коліс рухомого складу до рейки, або інших параметрів руху вагона, із записом результатів на спеціальну стрічку. Однією з проблем при цьому є точність вимірювання.

Так, порівняння трьох аналітичних методів визначення бокових сил, виконане в роботі [2], показало отримання різних результатів при використанні різних методів. В роботі [3] крім того, відзначено складність розшифрування стрічки колієвимірювального вагону, що полягає у тому на скільки правильно побудовані середні лінії за записами на стрічці, що також підтверджує проблему точності вимірів. Питання точності встановлення параметрів кривих для вирішення задач реконструкції плану залізничних колій розглянуті і в роботах [4, 5]

Однак не дивлячись на усі недоліки, динамічні методи використовуються на практиці при перевірці плану головних і станційних колій магістрального транспорту, особливо при значних обсягах вимірів для перевірки.

Інструментальні методи засновані на використанні спеціальних пристроїв для вимірювання радіуса.

До першої групи таких пристроїв належать геодезичні прилади, які застосовуються при виконанні інструментальних методів зйомки.

Геодезичні методи базуються на вимірюванні відстаней, кутів і висот із використанням геодезичних інструментів і діляться на:

- метод вимірювання стріл вигину в середині 20-метрової хорди (метод стріл);
- метод (спосіб) Гонікберга.

Ці методи є подібними і для обчислення радіуса кривої використовуються геометричні залежності кола. При використанні метода стріл на кривій на внутрішній грані головки рейки ставлять дві точки *A* і *B*, розташовані на базовій відстані, наприклад 10 м і натягують між ними шнур з позначенням середини; даний шнур є хордою кривої. Далі від центру хорди вимірюють відстань до внутрішньої грані головки рейки. Радіус кривої визначається за формулою:

$$R = \frac{L^2}{8h} + h, \qquad (1)$$

де L – довжина хорди, м;

h – стріла дуги – відстань від хорди до внутрішньої грані головки рейки.

Перевагою методу Гонікберга є простота у використанні, але точність результату залежить від якості вимірювань

До другої групи таких пристроїв відносяться діагностичні комплекси, що використовують безконтактні лазерні сканери для створення тривимірної моделі колії, на основі якої і обчислюється радіус. У даний час на залізниці такі комплекси, здатні здійснювати діагностику об'єктів залізничної інфраструктури з можливістю отримання додаткової інформації про досліджувані об'єкти, відсутні [3, 6], хоча їх придбання на кожну регіональну філію у планах АТ «Укрзалізниця» з 2014 року. Ефективним є використання таких комплексів для дослідних випробувань, розробки та введення в дію нормативної документації, тощо.

Цифрові та супутникові (GNSS) методи не використовуються на залізничному транспорті для вирішення означених задач, а їх використання передбачає вимірювання за допомогою GPS/GNSS-приймачів; координати точок на кривій визначаються у глобальній системі координат, а радіуси кривих обчислюються на основі тріангуляції або криволінійного моделювання.

Недоліками таких методів є, зокрема, складність застосування і неточність вимірів, що полягає у складності встановлення відстаней між поруч розташованими об'єктами, наприклад при визначенні габаритів наближення споруд, міжколійних відстаней, тощо.

Фотограмметричні методи, що також не використовуються на залізницях, базуються на зйомці місцевості за допомогою аерофотозйомки або дронів; на основі отриманих зображень будується цифрова модель місцевості, з якої визначають параметри кривих. Ці методи характеризуються тими ж особливостями , що і попередні.

Основний матеріал дослідження

При розробці технічних паспортів залізничних колій промислових підприємств суттєву роль відіграє точність виконання геодезичної зйомки, яку забезпечують сучасні вимірювальні прибори, такі як тахеометри та прилади позиціонування обладнані модулями GPS. Особливу увагу при цьому приділяють зйомці кривих ділянок залізничних колій.

Для підвищення якості камеральної обробки результатів геодезичної зйомки та визначення достовірних параметрів кривих ділянок колій доцільно мати координати точок, що їм належать, розташованих на невеликій відстані одна від одної. У цьому зв'язку під час виконання польових вимірювань інженери-геодезисти візуально визначають криволінійні ділянки колій і фіксують просторові координати точок на кривій з певним кроком. Очевидно, що чим менший крок, тим більше точок і вище достовірність параметрів кругових кривих при їх визначенні. З іншого боку такий підхід потребує додаткових витрат часу на виконання польових вимірювань.

На практиці для досягнення найкращого ефекту від економії часу і експлуатаційних витрат при збереженні бажаного результату щодо якості виконання польових вимірювань, зйомку кривих виконують із кроком 15…20 м. Якщо ж крива має значний радіус, то інженер-геодезист, користуючись власним досвідом, може прийняти рішення збільшити крок між контрольними точками до 40…50 м.

Результати геодезичної зйомки залізничних колій доцільно подавати у форматі векторних зображень у середовищі AutoCAD (рис. 1). Такі креслення мають необхідну інформацію про топологію усіх елементів залізничної інфраструктури у просторі, яка використовується для формування плану, поздовжнього та поперечного профілів, що відповідають вимогам діючих нормативних документів [7, 8].

Осі залізничних колій у кресленні AutoCAD представлені полілініями, які складаються лише з прямолінійних відрізків. Суміжні відрізки мають спільну вершину і розташовуються під різними кутами один до одного. Границі кривих ділянок колій визначаються візуально особою, що виконує камеральну обробку результатів геодезичної зйомки (далі – ОВК).

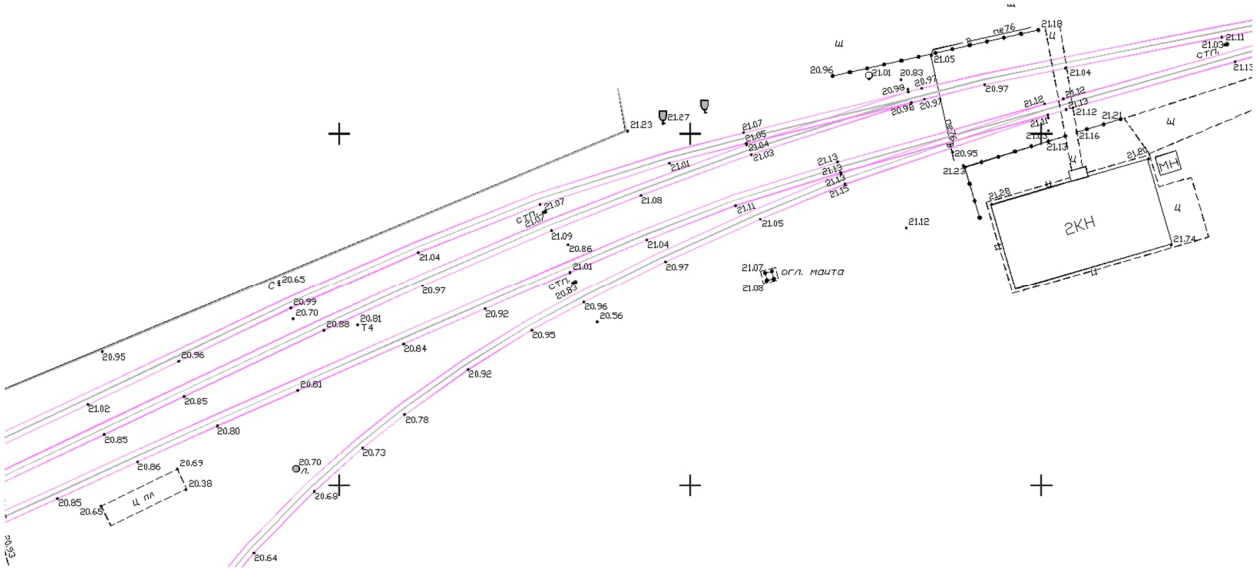

Рис. 1. Фрагмент креслення колійного розвитку промислової залізничної станції у системі AutoCAD

При розв'язанні даної задачі значний час витрачається на підбір параметрів кривих, які поєднують прямі ділянки колій. Складність процедури полягає у визначенні такого значення радіуса, щоб крива найточніше апроксимувала фрагмент полілінії, що представляє криволінійну ділянку залізничної колії. На вибір достовірного значення радіуса кривої ОВК може витрачати значний час навіть при використанні інтерактивного функціоналу системи автоматизованого проектування AutoCAD.

Для прискорення визначення параметрів кривих і підвищення достовірності розрахунків авторами розроблено відповідний метод, що включає кілька етапів.

На початковому етапі ОВК візуально оцінює положення криволінійної ділянки уздовж полілінії, визначаючи при цьому граничні відрізки, що відповідають прямим ділянкам колії, між якими буде розташована крива.

Наступний етап передбачає процедуру визначення достовірного (оптимального) значення радіуса кривої R_{opt}, який би забезпечив мінімальну сумарну відстань від проміжних точок (вершин полілінії) до осі колії, що включається в креслення. Даний крок є найбільш складним і не передбачає участі у ньому людини, тому виконується автоматично засобами AutoCAD.

На заключному етапі особі, що виконує камеральну обробку, надаються результати розрахунків, які вона може при необхідності відкоригувати і застосувати при формування кругової кривої на кресленні.

Узагальнений алгоритм автоматизованої визначення параметрів кривої представлений на рис. 2.

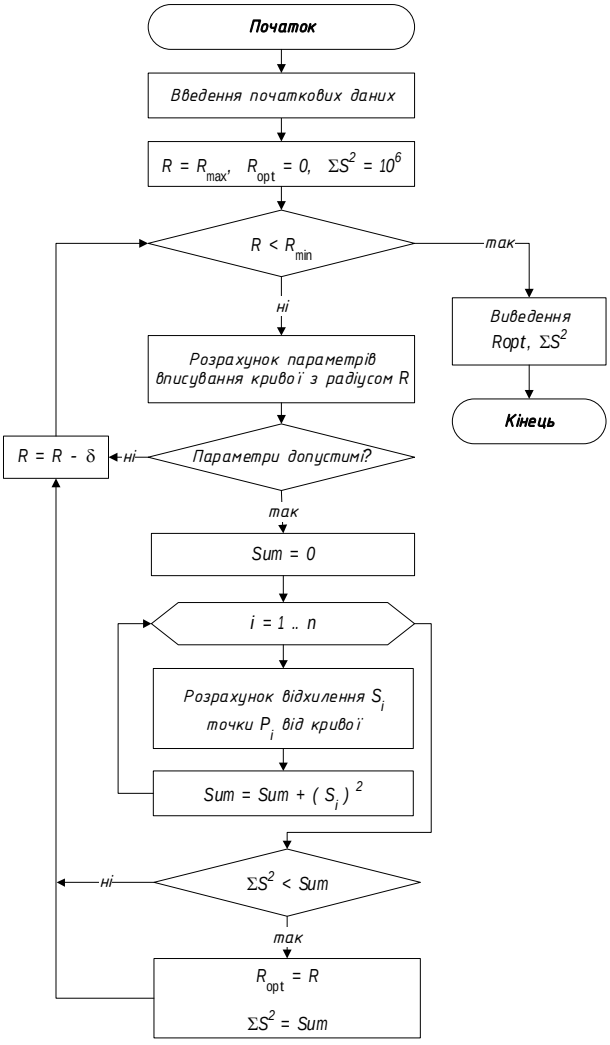

Рис. 2. Узагальнений алгоритм визначення параметрів кривої

Розглянемо процедуру визначення достовірного значення радіуса кривої на прикладі полілінії **P**, наведеної на рис. 3.

Полілінія **P** описується множиною точок $\mathbf{P} = \{p_1, p_2, ..., p_n\}$, кожна з яких характеризується координатами у просторі, тобто $p_i = (x_i, y_i, z_i)$, $i \in (1, ..., n)$, де n – кількість точок. Оскільки формування плану колії виконується на площині, то координата z_i не використовується. Так, полілінія **P**, яка представлена на рис. 3, описується вектором точок **P** = {*A*, *B*, *C*, *D*, *E*, *F*, *G*, *H*, *I*}. Кожна пара точок утворює відрізок, який їх поєднує. Кількість таких відрізків становить (n – 1).

Нехай, ОВК обрала відрізки *AB* та *HI* у якості прямих ділянок колії, які між собою потрібно сполучити кривою радіусом *R*. При цьому значення *R* повинно бути таким, щоб крива найкращим чином апроксимувала позиції точок *B*, *C*, *D*, *E*, *F*, *G* і *H*.

У процедурі, що розглядається, оптимальне значення радіуса кривої *R* визначається з використанням ітераційного підходу, який передбачає зміну *R* у діапазоні від $R_{\max}$ до $R_{\min}$ з кроком δ. Враховуючи норми [7-10], прийнято $R_{\max} = 3000$ м, $R_{\min} = 50$ м і $\delta = 5$ м. На кожній ітерації визначаються параметри кривої (тангенс, початок і кінець, кут повороту) та сумарні відхилення ΣS^2 від неї опорних точок полілінії **P**. Оптимальним вважається значенням *R*, при якому $\Sigma S^2 \to \min$.

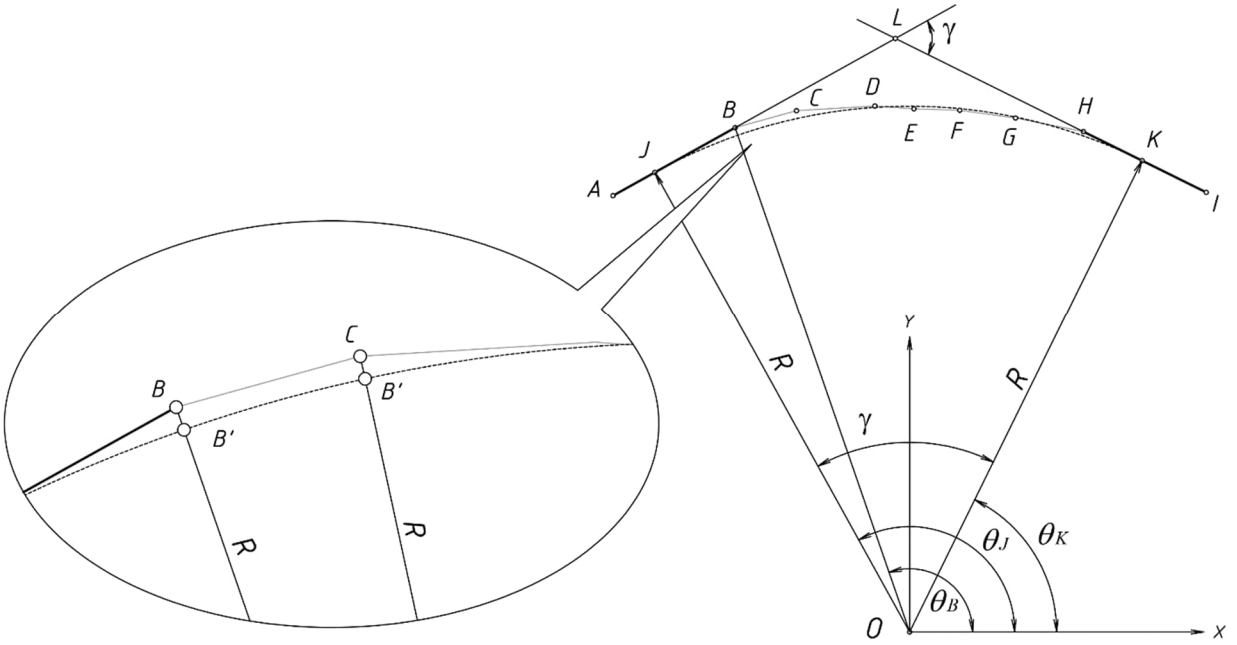

Рис. 3. Принципова схема для розрахунку параметрів кривої

Визначення початку і кінця кривої при відомому значені *R* вимагає знаходження положення точки перетину *L* прямих, якім належать відрізки *AB* та *HI*.

Рівняння прямої, що проходить через довільні точки $p_1(x_1, y_1)$ і $p_2(x_2, y_2)$ має параметричний вигляд [11]:

$$ax + by = c, \qquad (2)$$

де a, b, c – параметри рівняння, які становлять $a = y_2 - y_1$, $b = x_1 - x_2$ і $c = ax_1 + by_1$.

Тоді рівняння прямих, яким належать відрізки *AB* та *HI*, будуть мати вигляд

$$\begin{cases} a_1 x + b_1 y = c_1 \\ a_2 x + b_2 y = c_2 \end{cases} \qquad (3)$$

де $a_1 = y_B - y_A$, $b_1 = x_A - x_B$, $c_1 = a_1 x_A - b_1 y_A$, $a_2 = y_I - y_H$, $b_2 = x_H - x_I$, $c_2 = a_2 x_H - b_2 y_H$.

Для визначення координат точки перетину *L* необхідно розв'язати систему (3) будь-яким методом і знайти рішенні (*x*, *y*). Одним з таких є метод Крамера [12]. З системи рівнянь (3) знаходимо параметр $d = a_1 b_2 - a_2 b_1$. Якщо $d = 0$, то прямі, що розглядаються, паралельні або колінеарні і не мають точки перетину. В такому випадку виконується задача пошуку параметрів кривої не має сенсу. При $d \neq 0$ рішення системи (3) знаходяться за допомогою виразів:

$$x = \frac{c_1 b_2 - c_2 b_1}{d}, \quad y = \frac{a_1 c_2 - a_2 c_1}{d} \qquad (4)$$

Отримані значення (x, y) представляють собою координати точки перетину L.

Для сполучення відрізків AB та HI дугою $\overset{\frown}{JK}$ з радіусом R необхідно побудувати, так звані, тангенси кривої LJ та LK, які являють собою дотичні до неї, а положення точок J та K визначає початок та кінець кривої відповідно.

Довжина тангенсу кривої (дотичної) визначається за формулою:

$$T = R \cdot \mathrm{tg}(\frac{\gamma}{2}), \tag{5}$$

де γ – кут повороту кривої.

Кут повороту дуги $\overset{\frown}{JK}$ у радіанах, що сполучає відрізки AL та LI, визначається за формулою:

$$\gamma = \arccos\left(\frac{V_{AL} \cdot V_{LI}}{|V_{AL}| \cdot |V_{LI}|}\right), \tag{6}$$

де V_{AL}, V_{LI} – спрямовуючі вектори відрізків AL та LI відповідно, які розраховуються як $V_{AL} = (x_L - x_A, y_L - y_A)$ та $V_{LI} = (x_I - x_L, y_I - y_L)$;

$|V_{AL}|, |V_{LI}|$ – довжини спрямовуючих векторів V_{AL} і V_{LI} відповідно, значення яких визначається як Евклідова відстань [13]:

$$\begin{aligned} |V_{AL}| &= \sqrt{(x_L - x_A)^2 + (y_L - y_A)^2}, \\ |V_{LI}| &= \sqrt{(x_L - x_I)^2 + (y_L - y_I)^2}. \end{aligned} \tag{7}$$

Координати точок J та K, що відповідають початку та кінцю дуги $\overset{\frown}{JK}$, визначають зміщенням точки перетину L уздовж відрізків LA та LI на відстань T, яка визначається виразом (5). Якщо $|V_{AL}| < T$ або $|V_{LI}| < T$, то сполучити відрізки AB та HI кривою з заданим радіусом R неможливо. У цьому випадку потрібно перейти до наступної ітерації, зменшивши значення R на величину δ.

При визначені координат точок J та K використовують вирази:

$$\begin{aligned} J &\left(x_L + T \cdot \frac{x_A - x_L}{|V_{AL}|},\ y_L + T \cdot \frac{y_A - y_L}{|V_{AL}|}\right) \\ K &\left(x_L + T \cdot \frac{x_I - x_L}{|V_{LI}|},\ y_L + T \cdot \frac{y_I - y_L}{|V_{LI}|}\right) \end{aligned} \tag{8}$$

Наступний крок після визначення положення початку та кінця кривої $\overset{\frown}{JK}$ передбачає розрахунок сумарних відхилень опорних точок від кривої. Для прикладу, на рис. 3 опорними є точки B, C, D, E, F, G і H.

Відстань s_i від довільної точки з координатами (x_i, y_i) до кривої радіусом R визначається побудовою ортогональної проєкції на дугу:

$$s_i = R - \sqrt{(x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2} \tag{9}$$

де x_0, y_0 – координати центру кола O, якому належить дуга $\overset{\frown}{JK}$, що сполучає відрізки.

Величина s_i може мати як додатні, так і від'ємні значення. У цьому зв'язку при визначення сумарних відхилень ΣS^2 значення s_i підводиться до другого ступеню.

Положення центру кола O (x_0, y_0) можна отримати з виразів, що враховують радіус R дуги $\overset{\frown}{JK}$, її початок (x_J, y_J) і кінець (x_K, y_K):

$$\begin{aligned} O_1 &\left(M_x + \frac{h \cdot (y_J - y_K)}{|V_{JK}|},\ M_y + \frac{h \cdot (x_K - x_J)}{|V_{JK}|}\right), \\ O_2 &\left(M_x - \frac{h \cdot (y_J - y_K)}{|V_{JK}|},\ M_y - \frac{h \cdot (x_K - x_J)}{|V_{JK}|}\right). \end{aligned} \tag{9}$$

де M_x, M_y – координати середини хорди JK дуги з центром у точці O, які становлять $M_x = 0{,}5 \cdot (x_J + x_K)$ і $M_y = 0{,}5 \cdot (y_J + y_K)$;

$|V_{JK}|$ – довжина хорди JK (Евклідова відстань між точками J та K);

h – відстань від центру кола до середини хорди JK, що становить $h = \sqrt{R^2 - (0{,}5 \cdot |V_{JK}|)^2}$.

Положення центру кола може відповідати точці O_1 або O_2, в залежності від напрямку повороту кривої (дуги). Якщо відстань від між точками L та O_1 більше ніж відстань між точками L та O_2, то центр дуги (кола) знаходиться у точці O_1, у протилежному випадку – у точці O_2.

Потрібно відзначити, що опорні точки можуть знаходитися поза межами дуги $\overset{\frown}{JK}$, що сполучає відрізки AJ та KI і побудувати ортогональну проєкцію точки на дугу не має можливості. Перевірити положення опорних точок відносно дуги зручно за допомогою функції **atan2**, яка отримала широке використання у комп'ютерній графіці та інженерії [14]. Для цього необхідно обчислити полярні кути опорної точки, початку і кінця кривої відносно центру O (x_0, y_0). Так, для опорної точки B та дуги $\overset{\frown}{JK}$, що зображені на рис. 3, полярні кути визначаються за формулами:

$$\theta_J = \operatorname{atan2}\left(y_J - y_0,\, x_J - x_0\right)$$
$$\theta_K = \operatorname{atan2}\left(y_K - y_0,\, x_K - x_0\right) \qquad (10)$$
$$\theta_B = \operatorname{atan2}\left(y_B - y_0,\, x_B - x_0\right)$$

Якщо $\theta_B \in [\theta_J; \theta_J]$, то є можливість побудувати ортогональну проєкцію точки *B* на дугу $\overset{\frown}{JK}$ і визначити відстань між ними за допомогою виразу (9). У іншому випадку точка *B* знаходиться поза кривою $\overset{\frown}{JK}$ і потрібно визначати найкоротшу відстань між даною точкою і відрізками *AJ* або *HI*. Для цього ефективно використовувати алгоритми обчислювальної геометрії, які наведені у [11].

Представлена методика підбору оптимального значення радіуса кривої, що сполучає задані відрізки, реалізована у вигляді додаткового модуля до системи автоматизованого проєктування AutoCAD з використанням мови AutoLISP. Приклад роботи модуля наведено на рис. 4.

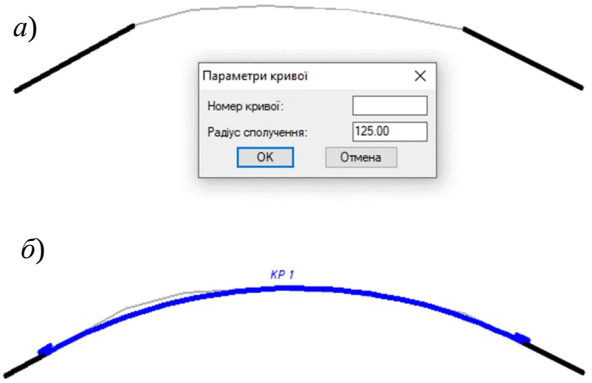

Рис. 4. Приклад роботи автоматизованого модуля визначення параметрів кривих:
а – діалогове вікно «Параметри кривої»,
б – результати проєктування кривої з оптимальними параметрами

Як було зазначено вище, значний час при оформленні креслень ОВК витрачає на підбір параметрів криволінійних ділянок колій. Розподіл часу на камеральну обробку однієї такої ділянки наведено на рис. 5. Визначено, що середній час на виконання даної процедури становить $m_t = 238$ с, а середнє квадратичне відхилення $\sigma_t = 63$ с.

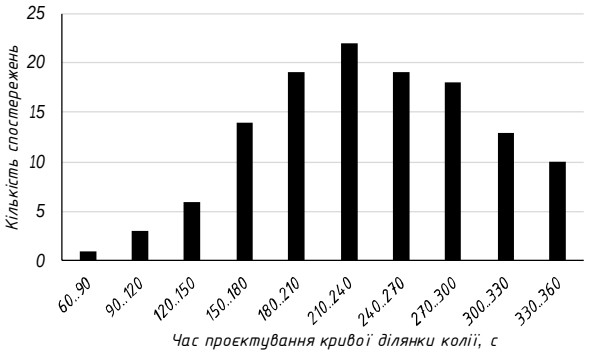

Рис. 5. Розподіл тривалості камеральної обробки однієї криволінійної ділянки колії

Дослідження конструкції колійного розвитку під'їзних колій промислових підприємств під час їх технічної паспортизації показало, що у розгорнутій довжині колій від 5 до 55 % займають криволінійні ділянки. Залежність загальної довжини кривих ділянок колій від розгорнутої довжини під'їзної колії наведено на рис. 6. Встановлено, що на 1 км розгорнутої довжини колії приходиться в середньому 356,62 м кривих ділянок колій.

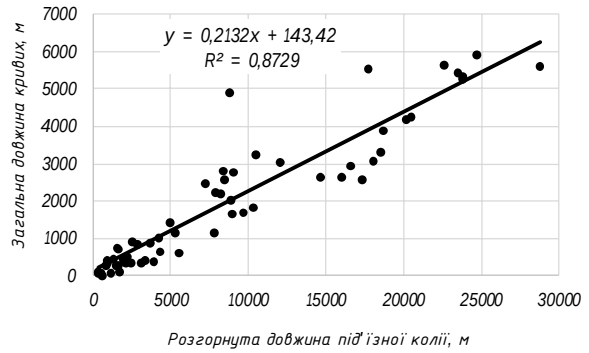

Рис. 6. Залежність загальної довжини кривих ділянок колій від розгорнутої довжини під'їзної колії

Також виконано аналіз залежності кількості кривих ділянок від розгорнутої довжини під'їзної колії, результати якого наведені на рис. 7. Так, на 1 км розгорнутої довжини колії приходиться в середньому 8-9 кривих ділянок колій. У такому випадку тривалість камеральної обробки лише кривих ділянок колій, що приходяться на 1 км розгорнутої довжини, становить в середньому 35 хв. Це значні витрати часу, які суттєво знижують продуктивність ОВК.

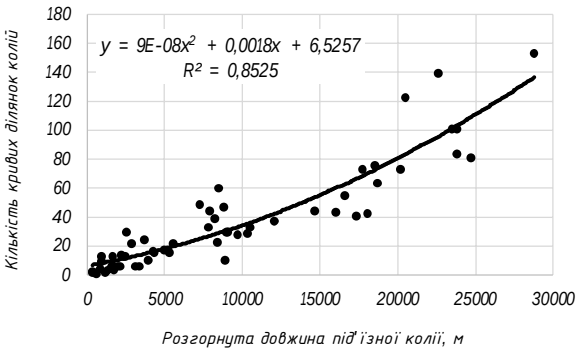

Рис. 7. Залежність кількості кривих ділянок колій від розгорнутої довжини під'їзної колії

Використання автоматизованого підходу до визначення параметрів кривих та їх камеральної обробки значно скорочує час на виконання даної процедури. Так, обробка однієї кривої ділянки колії займає не більше 30 с, а у перерахунку на 1 км розгорнутої довжини колій – в середньому 4,5 хв. Також, виконані експерименти показують, що лише у 4 % випадків автоматизованого проектування кривих ділянок колій ОВК коригує параметри кривих, визначені автоматично. Отримані результати доводять ефективність використання запропонованого методу автоматизованого визначення достовірних параметрів кривих ділянок колій.

Наукова новизна і практична значимість досліджень

Наукова новизна полягає в удосконаленні методу визначення достовірних параметрів кругових кривих, що сполучають суміжні прямолінійні ділянки залізничних колій, за результатами геодезичної зйомки засобами сучасних комп'ютерних технологій.

Практична значимість полягає у програмній реалізація запропонованого методу у середовищі AutoCAD, що дозволяє автоматизувати процес побудови криволінійних ділянок колій та прискорити формування планів колійного розвитку станцій, головних, з'єднувальних колій та під'їзних колій промислових підприємств.

Висновки

У результаті виконаних у роботі досліджень можна зробити наступні висновки.

1. Виконано огляд існуючих методів розрахунку параметрів кругових кривих, що сполучають суміжні прямолінійні ділянки залізничних колій. Визначені їх переваги та недоліки.

2. Встановлено, що у теперішній час при існуючому рівні розвитку комп'ютерних та інформаційних технологій, для виконання технічної паспортизації залізничних колій доцільним є використання автоматизованих систем проєктування, які дозволяють ефективно обробляти результати геодезичної зйомки та формувати потрібні креслення.

3. Значний час при підготовці планів колійного розвитку під'їзних колій займають операції з визначення достовірних параметрів кривих ділянок колій. Встановлено, що на це витрачається в середньому 35 хв на 1 км розгорнутої довжини колій.

4. Розроблений метод підбору раціональних параметрів кривих ділянок колій за результатами геодезичної зйомки, який реалізований у вигляді програмного модуля до системи автоматизованого проєктування AutoCAD.

5. Експерименти з модулем автоматизованого визначення достовірних параметрів кривих показали високу його ефективність, що дозволило скоротити час на камеральну обробку кривих ділянок залізничних колій до 5 хв у перерахунку на 1 км розгорнутої їх довжини.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Chrostowski P., Koc W., Palikowska K. Prospects in elongation of railway transition curves. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Transport*. 2020. No. 5. P. 309–320. DOI 10.1680/JTRAN.17.00097.

2. Болжеларський Я. В., Кузишин А. Я. Порівняння методів розрахунку бокової сили від дії колеса електровоза на головку рейки. *Електромагнітна сумісність та безпека на залізничному транспорті*. 2016. № 11. С. 55–64.

3. Дослідження параметрів залізничної колії у плані за різними методами зйомки / М. Б. Курган та ін. *Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту*. 2018. № 2. С. 77–86.

4. Задачі реконструкції плану залізничної колії та підходи до їх вирішення / М. Ю. Куценко та ін. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті.* 2018. № 5. С. 55–59.

5. Матвієнко О. В., Шевченко А. О. Проблеми точності вимірювань кривих на міжнародних транспортних коридорах України. *Метрологія та прилади.* 2018. № 4. С. 56–60.

6. Юрковський Є., Яковлєв В. Інноваційні технології діагностики та обслуговування інфраструктури. *Українська залізниця*. 2013. № 5. С. 18–20.

7. Інструкція з улаштування та утримання колії залізниць України / Е. І. Даніленко, А. М. Орловський, М. Б. Курган, В. О. Яковлєв та інші. – К.: «НВП Поліграфсервіс», 2012. – 395 с.

8. Методичні вказівки зі складання масштабних і схематичних планів станцій та поздовжніх профілів колій. ЦП 0125 : затв. : Наказ Укрзалізниці 15.12.2004 р. No972-ЦЗ / І. П. Корженевич, К. П. Мартова, М. Г. Ренгач, О. В. Гоц. – Київ: Алькор, 2004. –36 с.

9. Правила технічної експлуатації міжгалузевого промислового залізничного транспорту України : затв. : Наказ Міністерства транспорту та зв'язку України 01.10.2009 № 1014. – Київ : Дорадо-Друк, 2009. – 126 с.

10. ДБН В.2.3-19-2018 «Залізниці колії 1520 мм. Норми проектування» : затв. : Наказ Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово- комунального господарства України 28.09.2018 № 261. – Київ : Мінрегіон України, 2018. – 126 с.

11. Laszlo, M. J. (1996). Computational Geometry and Computer Graphics in C++. In Computational Geometry and Computer Graphics in C++.

12. Cramer, Gabriel (1750). Introduction à l'Analyse des lignes Courbes algébriques (фр.). Geneva: Europeana. С. 656-659.

13. Deza, M. M., Deza, E. Encyclopedia of Distances. – Fourth Edition. – Springer, 2016. – ISBN 978-3-662-52843-3. doi:10.1007/978-3-662-52844-0.

14. «The argument of a complex number». Santa Cruz Institute for Particle Physics. Winter 2011. URL: http://scipp.ucsc.edu/~haber/ph116A/arg_11.pdf

Надійшла до редколегії 14.12.2024.
Прийнята до друку 14.02.2025.

M. BEREZOVY, V. MALASHKIN, I. SKOVRON, O. NAZAROV, L. YELNIKOVA

THE USE OF COMPUTER TECHNOLOGY FOR AUTOMATION OF CAMERA PROCESSING OF RAILWAY INFRASTRUCTURE ELEMENTS IN THE PREPARATION OF TECHNICAL DOCUMENTATION

Purpose. When developing technical passports of industrial enterprises' sidings, as well as preparing large-scale schemes of main tracks on the runs and station tracks of mainline railway transport, the first stage involves geodetic surveying of the track development of the objects to be certified. On the one hand, the most accurate determination of the radii of curves of track sections is a rather laborious task, on the other hand, the presence of curves with variable radii complicates its solution and can lead to incorrect results. The aim of the study is to develop a method for determining the parameters of circular curves connecting adjacent straight sections of railroad tracks based on the results of a geodetic survey. The software implementation of the proposed method in the AutoCAD environment will automate the process of synthesizing curved track sections in drawings and accelerate the formation of track development plans for stations, main, connecting, and access tracks of industrial enterprises. **Research methods.** The methods of analytical geometry were used in the study. **Results.** At present, with the current level of development of computer and information technologies, it is advisable to use automated design systems to perform technical certification of railway tracks, which allow efficient processing of geodetic survey results and generate the necessary drawings. At the same time, when preparing plans for the track development of sidings, operations to determine the reliable parameters of curved track sections take considerable time. It was found that this takes an average of 35 minutes per 1 km of deployed track length. In this regard, we propose a method for selecting the best parameters of curved track sections based on the results of a geodetic survey, which is implemented as a software module for the AutoCAD computer-aided design system. Experiments with this module have shown its high efficiency, which has reduced the time for cameral processing of curved sections of railway tracks to 5 minutes per 1 km of their extended length and improved the quality of the results obtained. **The scientific novelty** is to improve the method for determining the reliable parameters of circular curves connecting adjacent straight sections of railway tracks based on the results of geodetic surveying using modern computer technologies. **The practical significance** lies in the software implementation of the proposed method in the AutoCAD environment, which allows automating the process of synthesizing curved track sections and accelerating the formation of track development plans for stations, main, connecting, and access tracks of industrial enterprises.

Keywords: railroad track, geodetic surveying, desktop processing, automation, computer technology