

ВИЗНАЧЕННЯ РАДІУСІВ КРИВИНИ ПРИ ГЕОДЕЗИЧНОМУ КОНТРОЛІ ПІДКРАНОВИХ КОЛІЙ

К. Бурак

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Ключові слова: радіуси підкранових колій, сплайнова інтерполяція.

Постановка проблеми

Уперше в технічній літературі автори роботи [6] звернули увагу на те, що допуски, наведені у чинних тоді Правилах безпечної експлуатації [7], дозволяли експлуатацію підкранових колій з незначною кривиною. Вони запропонували графічний метод визначення криволінійної оформляючої для їх рихтування. У публікаціях [2], [3] було вперше запропоновано інший, аналітичний спосіб розв'язання цієї самої задачі побудовою апроксимуючої поліноміальної оформляючої і розрахунку за нею даних для рихтування. Проте у першій вітчизняній редакції Правил [8] вимоги прямолінійності колій не було взагалі, а це призвело до непорозумінь. В роботі автора [4] на це було вказано й обґрунтовано необхідність регламентувати допустиму кривину колій. Ці рекомендації враховані в останній редакції Правил [9], де вже вимагається не тільки контролювати ширину колій, але і визначати радіуси кривини, що робить знову актуальними проблеми, поставлені в роботах [2, 3, 4].

У цій роботі пропонується нове рішення, яке дає змогу виконати точну перевірку допусків [9] на граничну кривину і, як наслідок, зробити висновок про необхідність рихтування або можливість подальшої експлуатації колій, який задовольнив би інспектуючу організацію. Річ у тім, що допуски, наведені в [9], встановлені на основі досвіду експлуатації, і будь-які відхилення від "букви" стандарту обґрунтувати інспектуючій стороні неможливо. Наприклад, додаткові похибки за рахунок апроксимації, перевищення допуску на величину стрілки прогину при збільшенні понад 40 м довжини кривої, що аналізується, тощо.

Необхідність такого рішення особливо гостра під час експлуатації таких відповідальних об'єктів, як підкранові колії мостових кранів центральних залів АЕС з ВВЕР-400 і ВВЕР-1000.

Зазначимо, що якщо інтерпретувати допуски, наприклад, Правил [7], як вимоги до міні-

мальної величини радіуса кривини підкранової рейки – R_{\min} :

$$R_{\min} = l^2 / 8f = 40^2 / 8 \cdot 0,020 = 10\,000 \text{ м}, \quad (1)$$

де f – допустима величина прогину підкранової рейки на ділянці завдовжки l , то задача розв'язується за алгоритмом, наведеним у роботі автора [4], де для регуляризації розв'язку некоректної, як у цьому випадку, задачі використовується підбір оптимального степеня апроксимуючого полінома. Але навіть і в цьому випадку різниці в значеннях вимірних координатах точок і апроксимуючої кривої значно більші, ніж похибки самих вимірів сучасним електронним тахеометром, що знижує точність результатів. Для підвищення точності розв'язку в алгоритмі, що пропонується, враховуючи порівняно високу точність геодезичних робіт, щоб уникнути додаткових похибок апроксимації, пропонується використати інтерполяцію кубічним сплайном.

Викладення основного матеріалу

Припустимо, що за результатами геодезичних знімів підкранова рейка задана координатами (x_j, y_j) , де $i = 0, 1, 2, \dots, n$ точок, які надалі будемо називати вузлами. Використовуючи прийняту термінологію, можемо сказати, що введено сітку:

$$\Delta : a = x_0 < x_1 < \dots < x_n = b \\ y : y_0, y_1, \dots, y_n, \quad (2)$$

що інтерполює

$$S(y; x_n) = y_j \quad (j = 0, 1, \dots, N). \quad (3)$$

Розв'язуючи задачу, ми скористались способом побудови сплайну, наведеним у роботі [5].

На кожному з відрізків $[x_{i-1}, x_i]$ $i = 1, 2, \dots, N$ шукали функцію $S(x) = S_i(x)$ у вигляді многочлена третього степеня:

$$S_i(x) = a_i + b_i(x - x_i) + c_i(x - x_i)^2/2 + d_i(x - x_i)^3/6 = y(x), \\ x_{(i-1)} < x < x_{(i)} \quad i = 1, 2, \dots, N, \quad (4)$$

де $a_{(i)}$, $b_{(i)}$, $d_{(i)}$, $c_{(i)}$ – коефіцієнти, які одержують за алгоритмом, наведеним у [6].

Тобто на кожній ділянці кривої, розміщеній між двома вузлами, крива подається у вигляді полінома третього степеня $y = f(i)$.

Будемо перевіряти умову, як було сказано на початку, щоб на хорді завдовжки 1 максимальне відхилення точки кривої від хорди не перевищувало величини f .

Нами пропонується алгоритм перевірки цієї умови на будь-якій ділянці кривої, заданої рівнянням (4), який ґрунтується на теоремі про середнє значення функції [1]:

1. Вибираємо точку (x_0, y_0) на кривій, яка є початком хорди заданої довжини – 1.

2. Знаходимо координати (x_1, y_1) точки перетину хорди довжиною – 1, що виходить із точки (x_0, y_0) із кривою з розв'язання системи рівнянь:

$$\begin{aligned} (x_1 - x_0)^2 + (y_1 - y_0)^2 &= 1^2 \\ y_1 &= f_i(x_1). \end{aligned} \quad (5)$$

Для розв'язання системи (5) використовували числовий метод ділення відрізка пополам [6].

3. За даними x_0, y_0 і визначеними з (5) x_1, y_1 , знаходимо кут нахилу хорди до осі OX :

$$\operatorname{tg}\alpha = (y_1 - y_0) / (x_1 - x_0). \quad (6)$$

4. Для оцінки відхилень кривої від хорди скористаємось відомою теоремою про середнє значення функції [1], з якої випливає, що на відрізку $[x_0; x_1]$ є хоча б одна точка ξ , де $f'(\xi) = \operatorname{tg}\alpha$, в якій і буде максимальне відхилення – δ кривої від хорди. Тому ми знаходимо корені рівняння $f'(i) = \operatorname{tg}\alpha$, які існують на відрізку $[x_0; x_1]$.

Оскільки на цьому відрізку вісь колії подана як комбінація кубічних поліномів, то $f'(i)$ – квадратний тричлен і

$$\begin{aligned} \delta(x^*) &= (f_i(x^*) - (y_1 - y_0) / (x_1 - x_0) (x^* - x_0) - y_0) \times \\ &\times \sqrt{1 / (\operatorname{tg}^2 \alpha + 1)}, \end{aligned} \quad (7)$$

де $x^* \in [x_0; x_1]$.

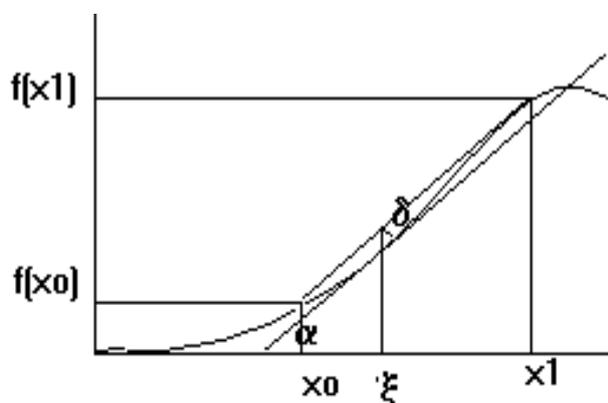


Рис. 1. Пошук максимального відхилення

5. Зі знайдених значень $\delta(x^*)$ на відрізку $[x_0; x_1]$ визначаємо максимальне $\delta(x^*)$ за модулем і відмічаємо x^* , у якій досягається це значення, а також значення x_0 , яке їй відповідає.

6. Повторивши процедуру визначення $\delta(x^*)$ для всієї кривої із кроком $(x_0^i - x_0^{i-1})$ який становить, з практичних міркувань, 5 м, побудуємо сіткову функцію $\delta(x^*)$:

$$\begin{aligned} \Delta: a &= x_0^1 < x_0^2 < \dots < x_0^n = b \\ Y: \delta(x^{*1}), \delta(x^{*2}) &< \dots < \delta(x^{*n}). \end{aligned} \quad (8)$$

7. Приймавши, що для заданої лінії функція, яка для кожної точки x_0 задає δ_{\max} на хорді 1, неперервна по x , користуючись наведеним вище алгоритмом, виконаємо ще раз сплайнову інтерполяцію сіткової функції $\delta(x^*)$.

8. І, нарешті, визначимо її максимум на відрізку $[x_0^1; x_0^n]$, розв'язавши рівняння

$$\delta'(x_0) = 0, \quad (9)$$

з умовою:

$$x_0 \in [x_0^1; x_0^n]$$

і визначення максимального зі значень $\delta(x_0^i)$ у точках, знайдених з (9).

9. Якщо

$$\delta(x_0)_{\max} < f,$$

де f – допустима стрілка прогину на ділянці завдовжки – 1, конструкція відповідає вимогам експлуатаційної надійності, в іншому разі необхідна оцінка її напружено-деформованого стану всіма можливими методами, із метою підготовки рекомендацій із заміни чи ремонту.

Висновки

Використання сплайнової інтерполяції дає змогу підвищити точність розв'язання задачі визначення радіусів підкранових колій за результатами знімання сучасним електронним тахеометром. Використання в алгоритмі теореми про середнє значення функції дає змогу запрограмувати і визначення екстремальних точок, що гарантує автоматичне визначення значень R_{\min} .

Література

1. Банах С. Дифференциальное и интегральное исчисление / С. Банах. – М.: Наука, 1972. – 119 с.
2. Баран П.И. Определение элементов плановой рихтовки крановых путей / П.И. Баран, Д.Н. Кавунец // Геод. и картография. – 1991. – № 5. – С. 16–18.
3. Баран П.И. Оптимизация при выверке криволинейных элементов сооружения и оборудования / П.И. Баран // Инж.геодезия. – К.. – 1988. – № 31. – С. 3–6.

4. Бурак К.Е. Выделение деформированных участков магистральных трубопроводов в оползневых районах геодезическими методами / К.Е. Бурак // Инженерная геодезия. – 1986. – Вып. 29. – С. 18–22.

5. Гулин В.Я. Численные методы / Гулин В.Я., Самарский А.А. – М.: Недра, 1989. – 310 с.

6. Кавунец Д.Н. Определение геометрических параметров подкрановых путей / Д.Н. Кавунец, Ю.К. Лященко, В.С. Корпас // Геодезия и картография. – М.: Недра, 1979. – № 25. – С. 25–27.

7. Правила устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов / Госгортехнадзор. – М.: Металлургия, 1983. – С. 173.

8. Правила будови і безпечної експлуатації вантажопідіймальних кранів. Державний нормативний акт по охороні праці: ДНАОП № 0-1 .03.93.ДКУ по нагляду за охороною праці. – К., 1994.

9. Правила будови і безпечної експлуатації вантажопідіймальних кранів. Державний нормативний акт по охороні праці: ДНАОП № 0,00-1.02.02. Затверджено ДКУ з промислової безпеки, охорони праці та гірничого нагляду від 18 червня 2007 р., № 132. – 86 с. – (Нормативні директивні правові документи).

**Визначення радіусів кривини
при геодезичному контролі
підкранових колій**
К. Бурак

Запропоновано аналітичне розв'язання задачі визначення радіусів підкранових колій за ре-

зультатами геодезичного контролю. У розв'язанні вперше використано сплайнову апроксимацію та пошук екстремальних точок з використанням теореми про середнє значення функції, що підвищує точність та гарантує автоматичне визначення значень мінімальних радіусів кривини.

**Определение радиусов кривины
при геодезическом контроле
подкрановых путей**

К. Бурак

Предлагается аналитическое решение задачи определения радиусов подкрановых путей по результатам геодезического контроля. В решении впервые использовано сплайновую аппроксимацию и поиск экстремальных точек с использованием теоремы о среднем значении функции, что повысило точность и гарантирует автоматическое определение значений минимальных радиусов кривизны.

**Determining of the radii of bending
in the geodesic control of ways of crane**

K. Burak

Is suggested the analytical solution of the task of determining of the radii of ways of crane as to the results of geodesic control. In deciding for the first time is used spline approximation and the search of extremum points with theorem using about the middle significance of function which raised accuracy and guarantees the automatic determining of the minimal significances of the radii of bending.

European Geosciences Union

General Assembly 2010

Vienna, Austria, 02 – 07 May 2010

ГЕНЕРАЛЬНА АСАМБЛЕЯ EGU 2010

Генеральна Асамблея EGU 2010 збирає спеціалістів з наук про Землю з усього світу в одному місці й охоплює усі дисципліни планетарних і космічних наук. EGU може слугувати форумом для молодих вчених з метою оприлюднення їх робіт та обговорення ідей з експертами у всіх галузях наук про Землю.

Більше інформації на <http://meetings.copernicus.org/egu2010/>