

УДК 515.2:625.1

С.А.Устенко, С.В.Діданов

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

КОМП'ЮТЕРНА РЕАЛІЗАЦІЯ МЕТОДУ ГЕОМЕТРИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ПЕРЕХІДНОЇ КРИВОЇ НА ОБМЕЖЕНІЙ ПЛОЩИНІ

В роботі пропонується комп'ютерна реалізація моделювання перехідної кривої залізничного шляху на обмеженій площині у вигляді програмного додатку. Побудована плоска крива отримана із застосуванням кубічного розподілу кривини. Наведено результати моделювання перехідних кривих і проведено їх стислий аналіз.

Ключові слова: комп'ютерна реалізація, геометричне моделювання, перехідна крива, кубічний закон розподілу кривини, залізнична колія.

Постановка проблеми. Українська залізниця пов'язує в єдине ціле всі області та райони країни, забезпечує потреби населення, державних та комерційних організацій у перевезеннях. Від якості залізничної колії залежать безпека руху та швидкість потягів, витрати на її утримання. Особливу роль у взаємодії колії та рухомого складу відіграє перехідна крива, вставкою якої забезпечується плавність переходу від прямолінійної ділянки до колової, чим запобігається явище удару колеса об рейку, що обумовлене раптовою появою (або зникненням) відцентрового прискорення [1].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблема геометричного моделювання перехідних кривих розглядалась не одноразово, зокрема, в роботах [2-4]. Це пов'язано з тим, що вона безпосередньо стосується безпеки руху залізничного транспорту. Робота є продовженням досліджень побудови перехідних кривих, що проводяться в Національному університеті кораблебудування імені адмірала Макарова.

Формулювання цілей статті. Метою роботи є розробка програмного забезпечення для геометричного моделювання перехідної кривої залізничного шляху на обмеженій площині для візуальної оцінки якості отриманої кривої. В основі розробки лежить метод геометричного моделювання перехідної кривої, запропонований в роботі [5].

Основний матеріал. При переході залізничного транспорту від прямолінійної до криволінійної ділянки залізничного шляху, виникають відцентрові сили, які пропорційні квадрату швидкості руху екіпажу, тому для запобігання появи удару між прямолінійною та коловою ділянками вбудовують перехідну криву 1-2 (рис. 1). Основною вимогою до перехідної кривої є те, що в початковій точці 1 її кривина повинна дорівнювати нулю, а в кінцевій точці 2 – $1/R$.

Крім того, потрібно забезпечити нульове значення похідної кривини на початку і в кінці перехідної кривої для уникнення появи стрибкоподібного кутового прискорення при вписуванні екіпажу в криву:

$$K(0) = 0; \quad K(S) = \frac{1}{R}; \quad \left. \frac{dK}{ds} \right|_{s=0} = \left. \frac{dK}{ds} \right|_{s=S} = 0,$$

де $K(s)$ – залежність кривини перехідної кривої від параметра s , що є довжиною кривої від точки 1 до поточної точки, S – довжина всієї перехідної кривої (до точки 2).

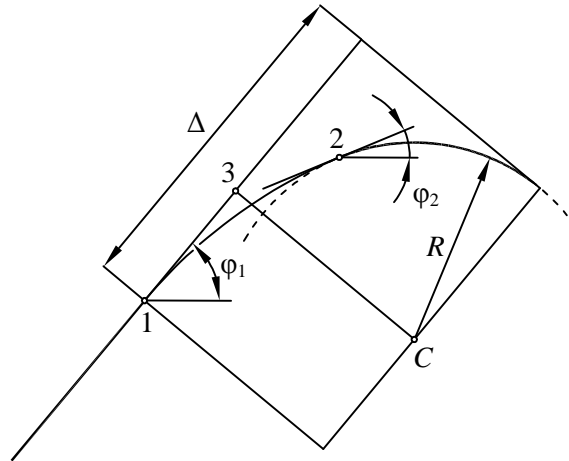


Рис. 1. До побудови перехідної кривої

Вихідними даними для моделювання перехідної кривої будуть: кінцева точка прямолінійної ділянки залізничного шляху 1, кут нахилу цієї ділянки φ_1 та радіус колової ділянки R . Додатковою умовою є обмеження розташування колової ділянки по площині, яка задається відстанню Δ від кінця прямолінійної ділянки до найдалшої дотичної до кола, що перпендикулярна цій ділянці.

В роботі [5] плоску перехідну криву пропонується подавати із застосуванням кубічного розподілу кривини, який має такий вигляд:

$$K(s) = \frac{s^2}{RS^2} \left(3 - 2 \frac{s}{S} \right).$$

Залежність для визначення кута нахилу дотичної до перехідної кривої в довільній її точці буде знаходитись за виразом:

$$\varphi(s) = \varphi_1 + \frac{s^3}{RS^2} \left(1 - \frac{s}{2S} \right).$$

Параметричне рівняння плоскої перехідної кривої буде:

$$x(s) = x_0 + \int_0^s \cos \varphi(s) ds; \quad y(s) = y_0 + \int_0^s \sin \varphi(s) ds.$$

В усіх цих рівняннях одна невідома S – довжина перехідної кривої. Для її визначення в роботі [5] пропонується розв'язати нелінійне інтегральне рівняння числовим методом, наприклад, методом половинного ділення:

$$R \cos \left(2\varphi_1 + \frac{S}{2R} \right) + \frac{\Delta - R}{\operatorname{tg} \varphi_1} - \int_0^S \sin \left(2\varphi_1 + \frac{s^3}{RS^2} \left(1 - \frac{s}{2S} \right) \right) ds = 0.$$

Процес знаходження кореня буде швидкозбіжним, тому що відомий інтервал ізоляції кореня: від L до $2L$, де L – відстань між точками 1 і 2. Оскільки координати точки 2 невідомі, то в якості інтервалу ізоляції можна взяти такий: $(0; 2\Delta)$.

Після визначення довжини перехідної кривої можна обчислити кут нахилу дотичної до перехідної кривої в кінцевій точці (точка 2), координати центра колової ділянки (точка C) та координати її початку (точка 2):

$$\begin{aligned} \varphi_2 &= \varphi_1 + \frac{S}{2R}; \\ x_C &= R \sin \varphi_2 + x_1 + \int_0^S \cos \left(\varphi_1 + \frac{s^3}{RS^2} \left(1 - \frac{s}{2S} \right) \right) ds; \\ y_C &= y_1 + \frac{(x_1 - x_C) \cos \varphi_1 + \Delta - R}{\sin \varphi_1}; \end{aligned}$$

$$x_2 = x_c - R \sin \varphi_2 ; y_2 = y_c + R \cos \varphi_2 .$$

Таким чином, отримані всі параметри потрібні для побудови перехідної кривої між прямолінійною та коловою ділянками залізничного шляху на обмеженій площині.

На основі запропонованого в роботі [5] методу геометричного моделювання плоскої перехідної кривої залізничної колії на обмеженій площині, розроблено програмне забезпечення мовою об'єктно-орієнтованого програмування Object Pascal в середовищі візуального програмування Delphi. Вікно розробленої програми наведено на рис. 2.

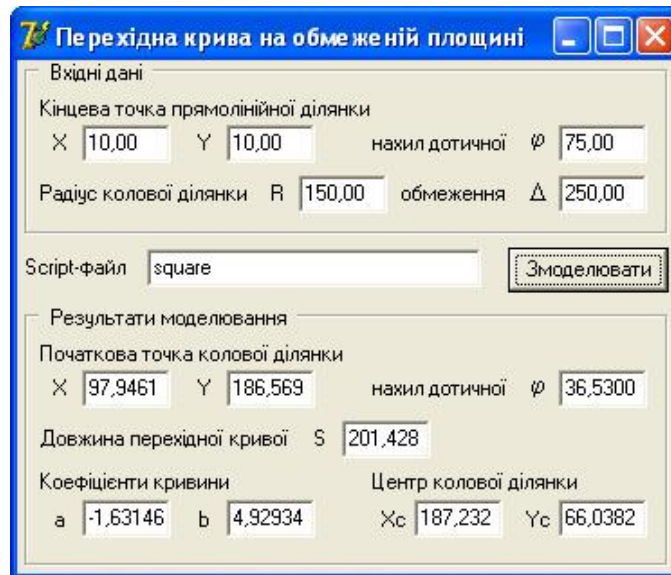


Рис. 2. Вікно розробленої програми

Вихідними даними для розрахунку є координати точки 1, кут нахилу дотичної до перехідної кривої в цій точці φ_1 , радіус колової ділянки R та обмеження розташування Δ . Крім числових результатів, програма формує script-файли, що містять плоску перехідну криву, графік кубічного розподілу кривини, графік нахилу дотичної до перехідної кривої.

На рис. 3-5 наведені результати геометричного моделювання перехідної кривої при різних геометричних параметрах. На рисунках крива 0 змодельована при таких початкових даних:

$$x_1 = 10 \text{ м}, y_1 = 10 \text{ м}, \varphi_1 = 70^\circ, R = 150 \text{ м}, \Delta = 250 \text{ м}.$$

На рис. 3 показані перехідні криві при зміні кута нахилу дотичної до початкової точки, яка складає $\pm 5^\circ$. Ліворуч наведені графіки розподілу кривини та кутів нахилу дотичних до кривої. З аналізу графіків видно, що при зміні кутів нахилу дотичної в початковій точці довжина перехідної кривої та її кривина не змінюється, а кут нахилу дотичної до кривої збільшується вздовж довжини на одне й те ж саме значення.

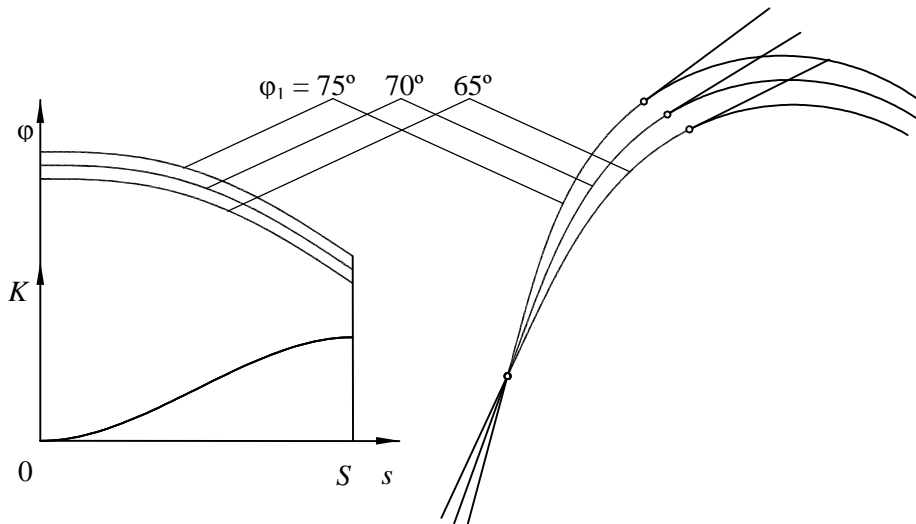


Рис. 3. Перехідні криві побудовані при зміні кута нахилу дотичної до початкової точки

На рис. 4 показані перехідні криві при зміні радіуса колової ділянки, яка складає ± 20 м. Ліворуч наведені графіки розподілу кривини та кутів нахилу дотичних до кривої. З графіків видно, що при зміні радіуса колової ділянки змінюється довжина перехідної кривої і кут нахилу дотичної до кривої, причому якщо радіус зменшується, то довжина збільшується, а кут зменшується.

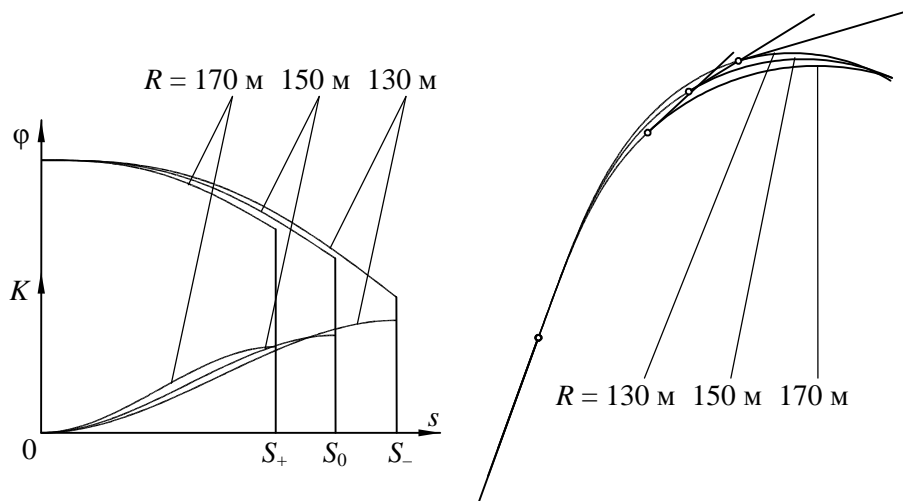


Рис. 4. Перехідні криві побудовані при зміні радіуса колової ділянки

На рис. 5 показані перехідні криві при зміні обмеження розташування, яка складає ± 20 м. Ліворуч наведені графіки розподілу кривини та кутів нахилу дотичних до кривої. При аналізі графіків помітно, що при зміні обмеження змінюється й кут нахилу дотичної до кривої, кривина залишається на тому ж рівні.

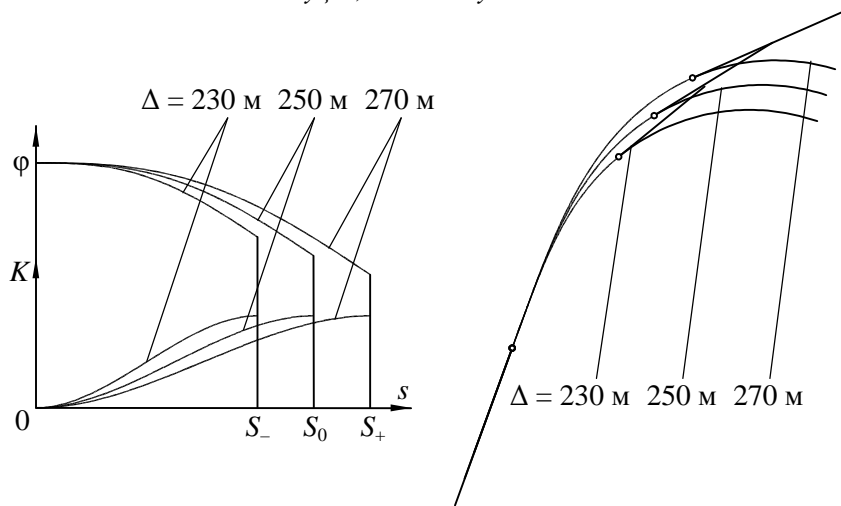


Рис. 5. Перехідні криві побудовані при зміні обмеження розташування

Висновки. Виконано комп'ютерну реалізацію метода геометричного моделювання перехідної кривої залізничного шляху на обмеженій площині, а також виконано стислий аналіз отриманих кривих. Наступним кроком є впровадження результатів на підприємствах залізниці.

1. Амелин С.В. Путь и путевое хозяйство / С.В.Амелин, Л.М.Дановский. – М.: Транспорт, 1986. – 215 с.
2. Эльфимов Г.В. Теория переходных кривых / Г.В.Ельфимов. – М.: Трансжелдориздат, 1948. – 311 с.
3. Лагута В.В. Удосконалення проектування кривих залізничної колії в плані: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.22.06 "Залізнична колія" / В.В.Лагута. – Дніпропетровськ, 2002. – 18 с.
4. Русу С.П. Математическая модель пути пространственной конфигурации при различных режимах движения транспортных экипажей / С.П. Русу, В.В.Кравец // Транспорт. – Дніпропетровськ: СІЧ, 1999. – С. 114-119.
5. Устенко С.А. Геометричне моделювання перехідної кривої на обмеженій площині / С.А. Устенко, С.В. Діданов // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. Випуск 4 "Прикладна геометрія та інженерна графіка". – Мелітополь: ТДАТУ, 2011. – Том 51. – С. 116-120.