

## РОЗРОБКА МЕТОДІВ ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ КРИВИХ ЗМІННОГО РАДІУСА ПРИ ПАСПОРТИЗАЦІЇ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ

### DEVELOPMENT OF METHODS FOR DETERMINING PARAMETERS OF CURVES WITH VARIABLE RADIUS DURING ROADS PASSPORTIZATION



**Бець Світлана Олександрівна**, аспірант кафедри проектування доріг, геодезії, картографії та землеустрою, Національний транспортний університет, Київ, Україна, [svetuk2009@ukr.net](mailto:svetuk2009@ukr.net), +380677182879,

<https://orcid.org/0000-0002-3855-3490>

**Анотація (Summary).** Паспортизація автомобільних доріг України, є однією із важливих задач у дорожній галузі. Використання GPS технологій та системи лазерного сканування території забезпечує високоточне визначення координат у будь-якій точці земної поверхні, у будь-який час доби, за будь-якої погоди.

Для плавного переходу між прямими та кривими ділянками на автомобільних дорогах використовують криві змінного радіуса. Існуючі методи визначення радіусів заокруглень доцільно використовувати лише для визначення колових кривих, які мають постійний радіус. За цими методами визначається радіус заокруглення на вершині кривої і він вважається однаковим на всій ділянці кривої. Ці методи не можуть забезпечити достатньої точності при розрахунках перехідних кривих, так як вони не враховують зміну радіуса. Тому виникла необхідність розробити методи, які будуть враховувати зміну радіуса на перехідних кривих в плані, та кривих, описаних рівнянням параболи, в поздовжньому профілі.

Результати дослідження можуть бути впровадженні у проектних інститутах та експлуатаційних службах доріг для визначення транспортно-експлуатаційного стану доріг і вирішення питань необхідності реконструкції автомобільної дороги.

**Ключові слова (Keywords):** автомобільна дорога, перехідна крива, координати, параметри дороги.

#### **Вступ (Introduction).**

Паспортизація автомобільних доріг України є одним з важливих завдань у дорожній галузі. При паспортизації виникає необхідність прив'язки автомобільних доріг, яку виконують за допомогою координат ( $x$ ,  $y$ ,  $z$ ). Ці координати можна отримати за допомогою GPS технологій, інструментальної зйомки та лазерного сканування, які забезпечують достатню точність при їх визначенні. За допомогою цих координат визначають параметри автомобільних доріг.

**Матеріали та методи. (Materials and methods).** У статті застосовувались методи математичного моделювання.

#### **Результати і пояснення (Results and Discussion).**

При визначенні радіусів заокруглення на автомобільних дорогах, як для горизонтальних, так і для вертикальних кривих з'являється задача визначення їх напрямлення. Для горизонтальних кривих, в плані, це визначення їх напрямленості – направо чи наліво відносно вісі дороги. Для вертикальних кривих – опукла чи увігнута крива. В одному та іншому випадку характер вісі траси можна описати координатами  $X$ ,  $Y$  та  $Z$ . Для першого випадку таким критерієм є зростання або зменшення відповідних координат  $X$  та  $Y$ , а для другого – характер зміни координати  $Z$ . Аналізуючи положення вісі траси у вертикальній площині можна встановити ділянки з постійним похилом та величину цього похила, а також його характер – спад чи підйом.

Згідно з [1] вихідні дані для паспортизації дороги приводяться у вигляді тривимірних координат, що складають цифрову модель дороги та навколишньої місцевості, які описують:

а) точки переламу в поперечних профілях дороги, під'їздів (які входять в титул дороги), з'їздів з дороги, в тому числі і з'їздів транспортних розв'язок в одному та різних рівнях;

- б) рельєф навколишньої місцевості;
- в) фронтальні поверхні перших, від земляного полотна, висотних перешкод зору водіїв;
- г) контури штучних споруд, що обмежують висотний габарит проїзду;
- д) контури протилавинних, протиобвальних, та проти селевих споруд;
- е) вісі водопропускних труб, перепадів, лотків та підпірних стінок;
- ж) вісі напрямних пристроїв та огорожень;
- з) вісі протишумових, проти вібраційних та протиосліплювальних екранів та ін.

Кожна точка цифрової моделі є даним з встановленою структурою. Кожна точка цифрової моделі повинна мати свій унікальний код, в якому мають бути закодовані: порядковий номер точки, належність точки до автомобільної дороги (ділянки дороги в межах області) на яку складається паспорт, належність точки певному об'єкту та належність точок до певного поперечного профілю.

«Значення» кожної точки є сукупність тривимірних координат X, Y, H та лінійної прив'язки – КМ+).

Вихідними джерелами цифрової моделі можуть бути: тахеометрична зйомка, GPS технології, лазерне сканування.

Цифрова модель складається способом «поперечних профілів дороги та навколишньої місцевості». Перший поперечний профіль – на початку дороги, останній – в кінці дороги. Відстань між сусідніми поперечними профілями – не більше 20м. Додатково складаються поперечні профілі в екстремальних точках поздовжнього профілю, в місцях зміни ширини земляного полотна, проїзної частини, початку та кінця штучних споруд, що мають обмеження габаритів проїзду[2].

Розглянемо деякі з існуючих методів визначення параметрів автомобільних доріг:

1. Аналітичний метод визначення радіуса кривої

Визначення радіуса кривої по трьом точка, які знаходяться на однаковій відстані одна від одної.

Три точки знаходяться на кривій з радіусом R, який є шуканою величиною. Відрізок AC – хорда з відомою довжиною. Посередині кривої знаходиться точка B – вершина кривої, радіус R проведений через цю точку ділить хорду на два рівних відрізка AD і DC, з довжиною L/2. Перевищення точки B над хордою становить величину Δ [3,4,5].

З цих вихідних даних виводиться формула для обчислення радіусу горизонтальної кривої.

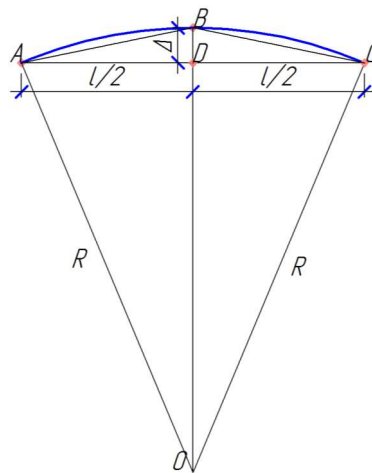


Рисунок 1 – Схема визначення радіуса кривої  
 Figure 1 – Scheme for determining the radius of the curve

Нехай сторона DC відноситься до сторони DO, так само як і DC до BD.

$$R = \frac{\frac{l^2}{4} + \Delta^2}{2\Delta} \quad (1)$$

Отримуємо універсальну формулу

$$R = \frac{4\Delta^2 + l^2}{8\Delta} \quad (2)$$

2. Графічний метод

Для визначення радіусу кривої графічним методом в AutoCAD використовується додаткова команда, яку необхідно встановити в програму. Команда називається Геоімпорт, вона дозволяє завантажити координати точок в AutoCAD та побудувати криву.

В результаті отримується полілінія для аналізу. Використовуючи команду «побудувати коло за трьома точками» визначаються радіуси заокруглень методом підбору колової кривої. Для цього будуємо коло за трьома точками, які знаходяться на полілінії, що представляє трасу автомобільної дороги, рівновіддаленими одна від одної. Також за допомогою інших інструментів AutoCAD вимірюються довжини прямих та кривих ділянок

### 3. Графічно – аналітичний метод визначення поздовжнього похилу

За допомогою спеціальної програми, розробленої кафедрою проектування НТУ, за допомогою якої координати точок, виміряних за допомогою рухомої лабораторії з GPS-приймачем, виводяться в графічному вигляді.

В цій програмі можна переглянути координати (X, Y, Z) всіх точок замірів, час замірів та довжину траси. В графічній частині показано графік дороги (осі дороги) та поздовжнього профілю. Внизу показано графік з допомогою якого можна виділити будь-яку ділянку дороги і у віконцю над цим графіком виділена ділянка виводиться у збільшеному вигляді. На основі цих даних за формулами розраховується похил.

Ці методи доцільно використовувати лише для розрахунку колових кривих, так як при визначенні параметрів кривих змінного радіуса не враховується зміна радіусів по довжині кривої.

В сучасних умовах при проектуванні в основному використовують криві змінного радіуса. Існуючі методи для визначення параметрів автомобільних доріг не враховують зміну радіуса на перехідних кривих, але їх можна використовувати на колових кривих.

При визначенні радіусів заокруглення на автомобільних дорогах, як для горизонтальних, так і для вертикальних кривих з'являється задача визначення їх напрямлення. Для горизонтальних кривих, в плані, це визначення їх напрямленості – направо чи наліво відносно вісі дороги. Для вертикальних кривих – опукла чи увігнута крива. В одному та іншому випадку характер вісі траси можна описати координатами X, Y та Z. Для першого випадку таким критерієм є зростання або зменшення відповідних координат X та Y, а для другого – характер зміни координати Z. Аналізуючи положення вісі траси у вертикальній площині можна встановити ділянки з постійним похилом та величину цього похила, а також його характер – спад чи підйом.

В сучасних умовах при проектуванні в основному використовують криві змінного радіуса. Існуючі методи для визначення параметрів автомобільних доріг не враховують зміну радіуса на перехідних кривих, але їх можна використовувати на колових кривих.

#### *Методи для визначення параметрів автомобільних доріг, які враховують зміну радіуса*

Для розрахунку кривих змінного радіуса доцільно використовувати наступні методи, які враховують зміну радіуса:

##### 1. Визначення радіуса горизонтальної кривої методом подовжених хорд

Враховуючи наявність не лише колових горизонтальних кривих, а й перехідних кривих, для отримання їх радіусів виникла необхідність визначення кривизни всіх точок отриманих з допомогою GPS, супутникових геодезичних карт та іншими методами, які характеризуються координатами X, Y, Z.

При детальній розбивці колових кривих в ускладнених умовах використовують метод подовжених хорд. В цьому методі користуються постійною величиною S та d, які відповідають радіусу горизонтальної кривої [6].

Так як при роботі з супутниковою картою, або даними GPS довжина хорди S буде змінюватися, метод потребує уточнення. Для цього необхідно встановити залежність проміжного переміщення d від хорди S. Розрахункова схема показана на рис. 2.

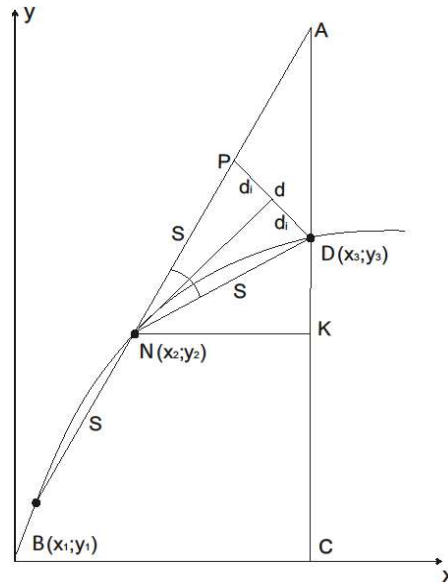


Рисунок 2 – Схема для розрахунку кривої методом подовжених хорд  
 Figure 2 – Scheme for calculating the curve by the method of elongated chords

- 1) Визначається похил подовженої хорди

$$i_1 = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \quad (3)$$

- 2) Визначаються координати точки А

$$\begin{aligned} \Delta h_A &= (x_3 - x_1) \cdot i_1 \\ y_A &= y_1 + \Delta h_A \\ x_A &= x_3 \end{aligned} \quad (4)$$

- 3) Визначається довжина хорди S

Трикутник PND рівнобедрений, тому NP=ND. З трикутника NDK знаходиться гіпотенуза ND, яка дорівнює довжині хорди S:

$$S = \sqrt{(x_3 - x_2)^2 + (y_3 - y_2)^2}$$

(5)

- 4) Визначається проміжне переміщення d  
 Визначається кут PND

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \angle ANK &= \frac{AK}{NK} = \frac{y_A - y_2}{x_A - x_2} \\ \operatorname{tg} \angle DNK &= \frac{DK}{NK} = \frac{y_3 - y_2}{x_3 - x_2} \end{aligned}$$

(6)

$$\angle AND = \angle ANK - \angle DNK$$

З прямокутного трикутника PND визначається проміжне переміщення d:

$$\begin{aligned} \sin \angle PND / 2 &= \frac{d / 2}{S} \\ d &= S \cdot \sin \angle PND \end{aligned} \quad (7)$$

- 5) Визначається радіус горизонтальної кривої R

$$R = \frac{S^2}{d} \quad (8)$$

2. Визначення радіуса вертикальної кривої та похилу методом перевищень

Метод ґрунтується на залежності кривизни від похилу, який можна визначити в будь-якій точці на вертикальній кривій. Похил визначається за дотичною в точках на кривій рівновіддалених одна від одної[7,8].

На рис.3 приведено розрахункову схему по визначенню кривизни у вертикальній площині з використанням координат X та Z.

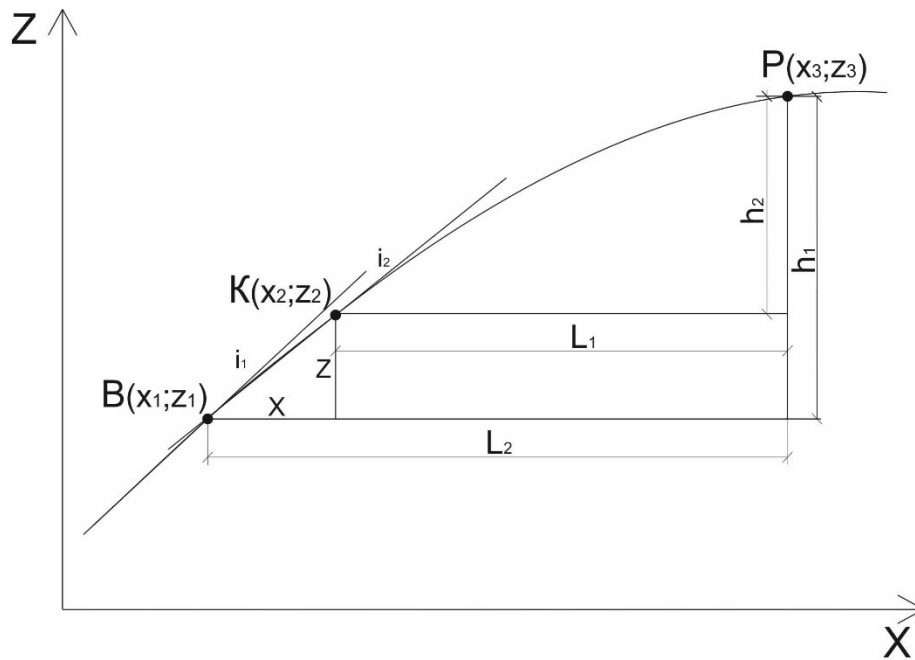


Рисунок 3 – Схема для визначення радіуса кривої  
 Figure 3 – Scheme for determining the radius of the curve

Кривизна в кожній точці знаходиться:

$$R = L / i$$

Виходячи з цього

$$L_1 = i_1 \cdot R \quad (9)$$

$$L_2 = i_2 \cdot R \quad (10)$$

Перевищення рівні

$$h_1 = \frac{L_1^2}{2R} \quad (11)$$

$$h_2 = \frac{L_2^2}{2R} \quad (12)$$

Умовно різниця між перевищеннями називається Z

$$h_1 - h_2 = Z \quad (13)$$

Підставляємо у рівняння (13) рівняння (11) і (12)

$$\frac{L_1^2}{2R} - \frac{L_2^2}{2R} = Z \quad (14)$$

Різниця відстаней умовно має назву  $X$

$$L_2 - L_1 = X \quad (15)$$

Підставляємо (15) у рівняння (14) і отримуємо

$$\frac{L_1^2}{2R} - \frac{(L_1 - X)^2}{2R} = Z$$

$$\frac{(i_1 \cdot R)^2}{2R} - \frac{(i_1 \cdot R - X)^2}{2R} = Z \quad (16)$$

Домножується друга частина рівняння на знаменник  $2R$  і отримуємо

$$(i_1 \cdot R)^2 - (i_1 \cdot R - X)^2 = 2RZ \quad (17)$$

$$i_1^2 R^2 - i_1^2 R^2 + 2i_1 R X - X^2 = 2RZ \quad (18)$$

$$2i_1 R X - 2RZ = X^2 \quad (19)$$

$$R(2i_1 X - 2Z) = X^2 \quad (20)$$

В результаті отримуємо

$$R = \frac{X^2}{2i_1 X - 2Z} \quad (21)$$

Визначається наступний похил

$$L_1 - L_2 = X i_1 \cdot R - i_2 \cdot R = X$$

$$i_2 \cdot R = X + i_1 \cdot R$$

$$i_2 = \frac{X + i_1 \cdot R}{R} \quad (22)$$

На основі розрахованих елементів можна визначити видимість на автомобільній дорозі. Для цього можна використати метод конусів. За цим методом можна визначити дальність видимості в будь-якій точці на трасі на основі тривимірних координат. Для цього на основі тривимірної моделі дороги та визначених елементів встановлюється конус на заданих точках і різницею між відміткою вершини конуса і точкою пересічення бокової грані конуса та кромки проїзної частини визначається дальність видимості.

### Висновки та пояснення (Results and Discussion).

В результаті проведеної роботи розроблені нові методи для розрахунку кривих змінного радіуса, як в плані, так і в поздовжньому профілі. Для визначення радіусів горизонтальних кривих розроблений метод, заснований на методі подовжених хорд, який використовується для розбивки колових кривих. Для визначення радіусів в поздовжньому профілі розроблений метод перевищень, який базується на зміні перевищень між точками з заданими координатами та характерній зміні похилів на прямих та кривих ділянках.

З допомогою розроблених методів можна визначити радіус в будь-якій точці на трасі, маючи три координати  $(x, y, z)$ , які можна отримати з допомогою GPS технологій або іншими методами визначення координат точок.

Використовуючи представлені в статті методи, можна визначити кривизну кожної точки.

### Перелік посилань

1. СОУ 42.1-37641918-038:2011 Паспорт автомобільної дороги. Київ: Укравтодор, 2011. 115 с.
2. Паспорт автомобільної дороги. СОУ 42.1-37641918-038:2016. [Чинні від 2016–03–01]. К.: Укравтодор, 2016. 133 с.
3. Нахождение радиуса по хорде: Режим доступа: <http://gurumix.ru/nauka/matematika/165919-kak-najti-radius-po-horde.html>
4. Кузьмин В. И. Таблицы для разбивки переходных и круговых кривых на закруглениях автомобильных дорог способом углов и хорд. К.: УМК ВО, 1992. 68 с.
5. Антонов Н. М., Боровиков Н. Н., Фриц Ю. Н. Проектирование и разбивка вертикальных кривых на автомобильных дорогах (описание и таблицы). М.: Транспорт, 1968. 200 с.
6. Детальная разбивка кривых: Режим доступа: <http://cities-bлаго.ru/uchebnoe-posobie-po-inzhenernoj-geodezii/271-detalnaya-razbivka-krivykh.html>
7. Білятинський О. А., Кузьмін В. І. Інженерно-геодезичні роботи при будівництві автомобільних доріг: Навчальний посібник по спеціальному курсу інженерної геодезії. К.: НТУ, 2001. 192 с.
8. Пальчик А.М. Проектування поздовжнього профілю автомобільних доріг. Навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів/ А.М. Пальчик, М.О. Олійник. К.: НТУ, 2014. 119 с.

### DEVELOPMENT OF METHODS FOR DETERMINING PARAMETERS OF CURVES WITH VARIABLE RADIUS DURING ROADS PASSPORTIZATION

**Bets Svitlana Oleksandrovnа**, postgraduate student of road design, surveying and land management, National Transport University, Kiev, Ukraine, svetuk2009@ukr.net, +380677182879. <https://orcid.org/0000-0002-3855-3490>

**Summary.** Passportization of Ukrainian highways is one of the important tasks in the road sector. The use of GPS technology and laser scanning systems provides high-precision coordinates at any point in the earth's surface, at any time of day, in any weather.

Variable radius curves are used for smooth transition between straight and curved sections roads. In the article the existing methods of determining the radii of rounding it is considered, they are graphical, analytical and graph-analytical methods. Their determining the radii of rounding should be used only to determine the curves that have a constant radius. By these methods the radius of rounding is determined on the vertex of the curve and it is considered to be the same throughout the curve. It is expedient to use these methods only for the calculation of circle curves, since when determining the parameters of the curves of the variable radius, the change in the radii is not taken into account along the length of the curve. They can't provide sufficient accuracy in the calculation of transition curves, since they do not take into account the change of radius. Therefore, it became necessary to develop methods that would consider the change in the radius on the transient curves in the plan, and the curves described by the parabola equation, in the longitudinal profile. The developed methods will enable to determine the radius at any point on the track, having three coordinates (x, y, z) that can be obtained using GPS technology or other methods for determining the point coordinates.

The results of the study can be implemented in design institutes and operational services to determine the transport and operational condition of roads and to resolve the issues of the need for roads' reconstruction.

**Keywords:** road, transition curve, coordinates, road parameters.

### References

1. Passport of the roads. SOY 42.1-37641918-038: 2011. K.: Ukravtodor, 2011. 115p.
2. Identification of potentially hazardous areas of roads. SOY 42.1-37641918-038: 2016. K.: Ukravtodor, 2016. 133 p.
3. Finding Chord Radius. Access Mode: <http://gurumix.ru/nauka/matematika/165919-kak-najti-radius-po-horde.html>
4. Kuzmin V. I. Tables for the breakdown of transitional and circular curves on rounding roads by the method of angles and chords. K.: UMK VO, 1992. 68 p.
5. Antonov N. M., Borovikov N.N., Fricts U.N., Design and layout of vertical curves on roads (description and tables). M.: Transport, 1968. 200 p.
6. Detailed breakdown of curves. Access Mode: <http://cities-bлаго.ru/uchebnoe-posobie-po-inzhenernoj-geodezii/271-detalnaya-razbivka-krivykh.html>
7. Bilyatinsky O. A. Kuzmin V. I. Engineering and geodetic works at construction of highways: Tutorial on the special course of engineering geodesy. K.: NTU, 2001. 192 p.
8. Palchuk A. N., Oliynik M. O. Design of longitudinal profile of highways. Tutorial for students of higher education. K.: NTU, 2014. 119 p.