

DOI: 10.32347/2786-7269.2023.6.321-328

УДК 528.48

к.т.н., доцент **Лапицький І.В.**,
lapytskyi.iv@knuba.edu.ua, ORCID: 0000-0001-7333-2100,
Бондар С.А.,
bondar.sa@knuba.edu.ua, ORCID 0000-0002-9378-6588,
к.т.н., доцент **Кузьмич О.Й.**,
kuzmych.oy@knuba.edu.ua, ORCID 0000-0003-1762-6344,
Гуляєв Ю.Ф.,
guliaiev.iuf@knuba.edu.ua, ORCID 0000-0002-7265-1975,
Цеколенко О.В.,
tsykolenko.ov@knuba.edu.ua, ORCID 0000-0001-9231-8400,
Київський національний університет будівництва і архітектури

ПОШУК ОПТИМАЛЬНИХ ПРОСТОРОВИХ ПАРАМЕТРІВ ДЛЯ ГЕОДЕЗИЧНОГО РОЗМІЧУВАННЯ ТРАНСПОРТНИХ РОЗВ'ЯЗОК З ГАЛЬМІВНИМИ ПЕРЕХІДНИМИ КРИВИМИ

Найбільш розповсюджена транспортна розв'язка типу «лист конюшини» — складна інженерна споруда, у якій всі параметри та обмеження плану та поздовжнього профілю повинні бути узгоджені між собою. Насамперед потрібно враховувати реальні змінні швидкості руху автомобілів на розв'язці для забезпечення техніко-економічних показників та безпеки руху. Цій умові, як доведено нашими дослідженнями в попередніх публікаціях, відповідають уточнені гальмівні перехідні криві у складі розв'язки.

Пропонуємо метод оптимізації просторових параметрів транспортних розв'язок типу «лист конюшини» з уточненими гальмівними перехідними кривими.

Ключові слова: гальмівні криві; уточнені параметричні рівняння; розв'язка типу «лист конюшини»; оптимальні параметри транспортних розв'язок; геодезичні розмічування.

Проблема і її зв'язок із науковими і практичними завданнями.

Транспортна розв'язка типу «лист конюшини» — найбільш розповсюджена серед розв'язок для перетину автомобільних доріг в різних рівнях. Лівоповоротний з'їзд буде найбільш компактним, коли його довжина в плані співпадає з його довжиною у поздовжньому профілі з урахуванням цілого ряду різноманітних обмежень: нахилів, віражів, радіусів вертикальних і горизонтальних кривих, довжин суміжних ділянок проїзних частин прямих та кривих, і т.д. Пошук оптимальних параметрів з'їзду з урахуванням всіх

обмежень виконують методом підбору параметрів і математичної обробки кожного варіанту з наступним їх порівнянням. Це доволі складний багаторівневий розрахунковий процес.

Але з використанням гальмівних перехідних кривих, запропонованих нами раніше [1- 5], які відповідають реальному руху автомобілів зі змінною швидкістю, виникають нові обмеження, що потребують урахування.

Мета. Метою роботи є узгодження планових і просторових параметрів транспортних розв'язок типу «лист конюшини» з уточненими гальмівними перехідними кривими.

Аналіз досліджень і публікацій. Транспортні розв'язки часто проектують з перехідними клотоїдними кривими [5,6] чи кадїоїдами [7], які розраховані на постійну швидкість руху. В інших випадках враховуються гальмівні перехідні криві, в яких не забезпечена основна умова перехідної кривої — плавний перехід від прямої з безкінечним радіусом до радіусу кругової кривої [1- 4, 8].

Виклад основного матеріалу. Оскільки транспортна розв'язка типу «лист конюшини» є багатоскладовою просторовою спорудою, виникає необхідність перш за все проаналізувати всі її частини з метою вивчення їх геометричної точності, функціональності та взаємосумісності.

Цілі аналізу: безпека руху, техніко-економічні показники руху транспортних одиниць, компактність лівоповоротних і правоповоротних з'їздів та, як додатковий, але надзвичайно важливий аспект – мінімізація площі, яку займає уся транспортна споруда, що вельми важливо в тісних міських умовах.

Спочатку зробимо акцент на тому, що траєкторії руху автомобілів на розв'язці повинні відповідати реальним їх змінним швидкостям на лівоповоротних з'їздах, оскільки це рух на кривих малих радіусів. В наших попередніх дослідженнях доведено експериментально, що автомобілі, які заходять на лівоповоротний з'їзд, знижують швидкість, і навпаки, виходячи із з'їзду, швидкість збільшують [3].

Тому в якості перехідних кривих лівоповоротних з'їздів необхідно використовувати гальмівні криві, а не клотоїдні, які часто використовують, і які розраховані на постійну швидкість руху.

Деякі гальмівні перехідні криві, що розраховані на змінну швидкість руху, також використовують в транспортних розв'язках [4]. Але, аналізуючи ці криві, ми прийшли до висновку, що вони не відповідають класичному призначенню перехідної кривої, а саме, не забезпечують в кінці кривої необхідний радіус, який дорівнює радіусу кругової вставки для плавного переходу від перехідної до кругової кривої. Це приводить до небезпечних моментів руху автомобіля в точці примикання перехідної і кругової кривих.

Тому нами раніше були виведені формули уточнених гальмівних перехідних кривих, які відповідають вимогам радіусів класичних перехідних кривих [1, 2]. Крім того, пізніше з'ясувалося, що ці уточнені перехідні криві мають, як додатковий ефект, властивість зменшувати площу, яку займає лівоповоротний з'їзд, що демонструє рис.1 [1].

Пропонуємо метод пошуку оптимальних просторових параметрів транспортних розв'язок типу «лист конюшини» з гальмівними перехідними кривими, який ґрунтується на викладених нижче міркуваннях і математичних розрахунках.

Початковий відрізок l_H проїзної частини перехідної гальмівної кривої лівоповоротного з'їзду розв'язки співпадає з проїзною частиною основної траси. Тому самостійний профіль з'їзду може починатися тільки з визначеної точки гальмівної кривої H (рис.1).

Таким чином, довжина лівоповоротного з'їзду в плані L_{Π} складається з двох гальмівних перехідних кривих (кожна з них складається з двох частин l_H і l_B) та кругової кривої $l_{\text{КК}}$:

$$L_{\Pi} = 2(l_H + l_B) + l_{\text{КК}} \quad (1)$$

Довжина l_B , яка потрібна для відгону віражу, визначається виходячи з нахилу віражу на з'їзді i_B , поперечного нахилу покриття основної траси $i_{\text{пр}}$, нахилу відгону віражу $i_{\text{відг}}$ та ширини смуги проїзної частини b [8]:

$$l_B = \frac{b(i_B - i_{\text{пр}})}{i_{\text{відг}}} \quad (2)$$

Найбільш розповсюджені параметри:

$b = 4$ м; $i_B = 0,06$; $i_{\text{пр}} = 0,02$; $i_{\text{відг}} = 0,005$. Тобто $l_B = 32$ м.

Довжина кругової кривої $l_{\text{КК}}$ визначається так:

$$l_{\text{КК}} = (\pi + \alpha - 2\varphi)R = \beta R \quad (3)$$

Довжина ділянки l_H гальмівної кривої визначається виходячи з величини y_H , яка вважається не меншою, ніж ширина смуги руху (в розрахунках прийнята $y_H = 4$ м)/

Запропоновані раніше уточнені параметричні рівняння гальмівних кривих [1, 2, 3] визначають:

$$y_H = \frac{U}{3k} \gamma_H^3 \left(1 + \frac{\gamma_H}{4} - \frac{\gamma_H^2}{10} + \frac{\gamma_H^3}{4} - \frac{\gamma_H^4}{56} U^2 \right) \quad (4)$$

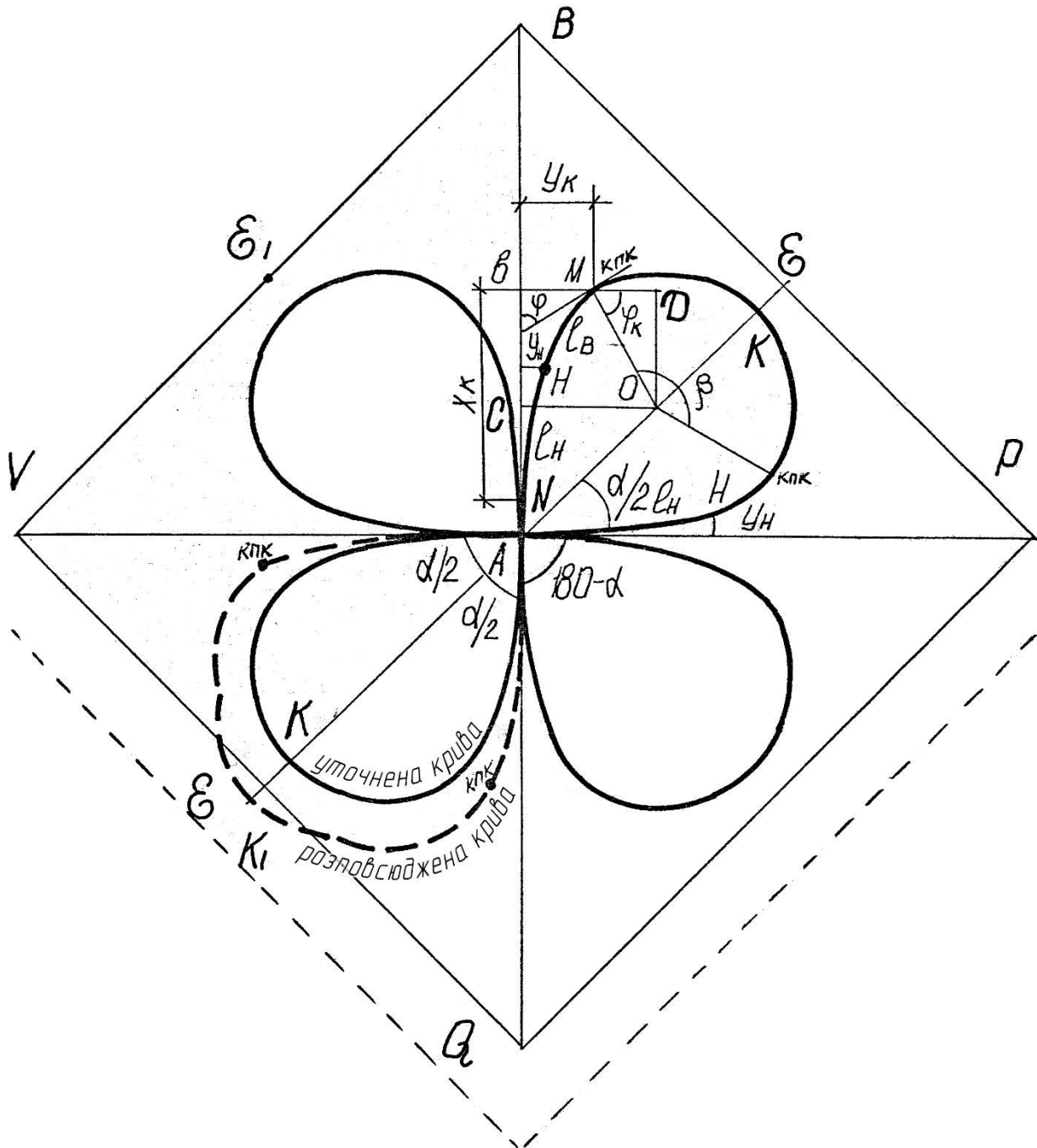


Рис. 1. Уточнені гальмівні криві у складі транспортної розв'язки типу «лист конюшини»

Довжина усієї гальмівної кривої L визначається таким чином [1]:

$$L = \frac{V_R^2 - V_0^2}{2a} \quad (5)$$

де V_0 — початкова швидкість;
 V_R — швидкість на круговій кривій;
 a — уповільнення.

Враховуючи вищесказане, найбільш компактним лівоповоротний з'їзд буде тоді, коли

$$L = l_{\text{н}} + l_{\text{в}} \quad (6)$$

Прийнявши умову (6) як основну, враховуючи обмеження (2)–(4) та (6), можемо скласти систему двох рівнянь:

$$\begin{cases} l_{\text{н}} + l_{\text{в}} - \frac{V_R^2 - V_0^2}{2a} = 0 \\ y_{\text{н}} - \frac{U}{3k} \gamma_{\text{н}}^3 \left(1 + \frac{\gamma_{\text{н}}}{4} - \frac{\gamma_{\text{н}}^2}{10} + \frac{\gamma_{\text{н}}^3}{4} - \frac{\gamma_{\text{н}}^4}{56} U^2 \right) = 0 \end{cases} \quad (7)$$

$$\text{де } \gamma_{\text{н}} = \sqrt{1 + kl_{\text{н}}} - 1; \quad k = \frac{2a}{V_0^2}; \quad U = \frac{2V_0g}{a(V_R - V_0) \cdot 9,8}$$

Маємо систему двох нелінійних рівнянь вищих степенів з двома невідомими a та $l_{\text{н}}$, яка розв'язується тільки ітераційними методами. Для розв'язання цієї системи знайдені проміжки ізоляції для кожної невідомої між мінімальними та надлишковими (максимальними) наближеними значеннями коренів системи.

Висновки та напрямок подальших досліджень. Визначення невідомих a (уповільнення автомобілів) та відрізка $l_{\text{н}}$ гальмівної кривої дає можливість деякій корекції цих параметрів для умов руху автомобілів на конкретній розв'язці та при подальших розрахунках поздовжнього профілю з'їздів.

Наступним етапом досліджень оптимальних параметрів транспортної розв'язки типу «лист конюшини» є розрахунок поздовжнього профілю лівоповоротного з'їзду, який складається з двох вертикальних кривих (S -подібний профіль) - опуклої $l_{\text{оп}}$, увігнутої $l_{\text{ув}}$ та прямої вставки між ними $l_{\text{вст}}$.

Найкращим буде варіант, коли довжина кривих та вставки поздовжнього профілю з усіма обмеженнями буде співпадати з довжиною кривих в плані. Пошук цього оптимального просторового варіанту пропонується в наших наступних публікаціях.

Список літератури

1. Лапицкий И.В. Разработка и исследование методов разбивочно-контрольных и проектных работ для строительства криволинейных участков автомобильных дорог [Текст]: дис. канд. техн. наук: 05.23.14, 05.24.01 / Лапицкий Игорь Владимирович. — Киев, 1987. — 121 с.
2. Лапицкий И.В. Геодезическая разбивка тормозных кривых и безопасность движения на транспортных развязках. — Инж. геодезия, 1987, вып. 30, с. 49–52.

3. Лапицький І.В., Кузьмич О.Й., Адаменко О.В. Обґрунтування геометричних параметрів деяких небезпечних для руху ділянок автомобільних доріг // *Modern trends of scientific development: Proceedings of the II International Scientific and Practical Conference (Vancouver, Canada, January 18–21, 2022)*. Ванкувер, 2022. С. 464–466. DOI: [10.46299/ISG.2022.I.II](https://doi.org/10.46299/ISG.2022.I.II)
4. Лапицький І.В. Просторове геодезичне розмічування криволінійних ділянок автомобільних доріг з нахилом поздовжнього профілю // *Матеріали 25-ї Міжнародної науково-технічної конференції «Геофорум-2020», 1–3 квітня 2020 р., Львів–Брюховичі–Яворів*. — Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2020. С. 124–125.
5. Баран П.І., Буряк К.О. Новий метод розташування і з'єднання клотоїди з коловою кривою. *Науково-виробничий журнал №2 (238) березень-квітень 2014 р.* С. 27-30.
6. Величко Г.В., Поспелов П.И., Лобанов Е.А., Филиппов В.В. Развитие нормативной базы проектирования автомобильных дорог с применением в плане и продольном профиле геометрических элементов с нелинейным изменением кривизны / *Сб. трудов МАДИ (ГТУ) «Проектирование автомобильных дорог»*. — М., 2002. — С. 10-16.
7. Белятынский А.А., Таранов А.М. Проектирование кривых при строительстве и реконструкции автомобильных дорог. — К.: Вища школа, 1989. — 302 с.
8. Гохман В.А., Визгалов В.М., Поляков М.П. Пересечения и примыкания автомобильных дорог. — М.: Транспорт, 1977. — 310 с.
9. ДБН В.2.3-4-2000 (Споруди транспорту, Автомобільні дороги). Держбуд України. — К., 2000, 117 с.
10. СНиП 2.05.02-85. Автомобильные дороги. Госстрой СССР. — М.:ЦИТП Госстроя СРСР, 1986. — 56 с.
11. Бойчук, В.С. Довідник дорожника / В.С. Бойчук. — К.: Урожай, 2002. — 560 с.

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, **Ihor Lapytskyi,**
Svitlana Bondar,
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, **Oleksandr Kuzmych,**
Yuriy Gulyaev, Olena Tsykolenko,
Kyiv National University of Construction and Architecture

SEARCH OF OPTIMAL SPATIAL PARAMETERS FOR GEODETIC DELINEATION OF MOTORWAY INTERCHANGES WITH BRAKING TRANSITION CURVES

The most widespread grade-separated road junction — cloverleaf interchange — is a complex engineering structure, in which all the parameters and limitations of the plan and longitudinal profile must be coordinated with each other. The goals of the analysis: traffic safety, technical and economic indicators of the movement of

transport units, the compactness of left-turn and right-turn exits and, as an additional, but extremely important aspect, the minimization of the area occupied by the entire transport structure, which is very important in tight urban conditions.

First, let's emphasize that the trajectories of cars at the intersection must correspond to their real variable speeds on left-turn exits, since this is traffic on curves of small radii. In our previous studies, it has been experimentally proven that cars entering a left-turning exit reduce their speed, and conversely, when leaving the exit, their speed increases. Therefore, it is necessary to use braking curves as transition curves of left-turn exits, and not clothoid curves, which are often used, and which are designed for constant speed of movement.

Some braking transition curves designed for variable speed are also used in traffic junctions [4]. But, analyzing these curves, we came to the conclusion that they do not meet the classical purpose of the transition curve, namely, they do not provide the necessary radius at the end of the curve, which is equal to the radius of the circular insert for a smooth transition from a transition curve to a circular curve. This leads to dangerous moments of the car's movement at the junction of the transition and circular curves.

Therefore, we previously derived the formulas of refined braking transition curves that meet the requirements of the radii of classical transition curves [1, 2]. In addition, it later turned out that these refined transition curves have, as an additional effect, the property of reducing the area occupied by the left-turn exit, as shown in Fig. 1.

We offer a method for optimizing the spatial parameters of cloverleaf interchanges with refined braking transition curves.

Keywords: braking curves; refined parametric equations; cloverleaf interchange; optimal parameters of road junctions; geodetic delineation.

REFERENCES

1. Lapitskiy I.V. Razrabotka i issledovaniye metodov razbivochno-kontrol'nykh i proyektnykh rabot dlya stroitel'stva krivolinyeynykh uchastkov avtomobil'nykh dorog: diss. of the Candidate of Technical Sciences: 05.23.14, 05.24.01 / Lapitskiy Igor' Vladimirovich. — Kyiv, 1987. — 121 pages. {in Russian}
2. Lapitskiy I.V. Geodezicheskaya razbivka tormoznykh krivykh i bezopasnost' dvizheniya na transportnykh razvyazkakh. — Inzhenernaya geodeziya, 1987, Issue 30, pages 49–52. {in Russian}
3. Lapytskyi I.V., Kuzmych O.Y., Adamenko O.V. Obhruntuvannia heometrychnykh parametriv deiakykh nebezpechnykh dlia rukhu dilianok avtomobilnykh dorih // Modern trends of scientific development: Proceedings of the II International Scientific and Practical Conference (Vancouver, Canada, January 18–

21, 2022). Vancouver, 2022. Pages 464–466. DOI: [10.46299/ISG.2022.I.II](https://doi.org/10.46299/ISG.2022.I.II) {in Ukrainian}

4. Lapytskyi I.V. Prostorove heodezychne rozmichuvannya kryvoliniinykh dilianok avtomobilnykh dorih z nakhyлом pozdovzhnoho profilu // Materialy 25-i Mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii «Heoforum-2020», 1–3 kvitnia 2020 r., Lviv–Briukhovychi–Iavoriv. — Lviv: Vydavnytstvo Lvivskoi politekhniki, 2020. Pages 124–125. {in Ukrainian}

5. Baran P.I., Buriak K.O. Novyi metod roztashuvannya i z'iednannya klotoidy z kolovoiou kryvoiu. Naukovo-vyrobnychi zhurnal №2 (238) March-April 2014. pp. 27-30. {in Ukrainian}

6. Velichko G.V., Pospelov P.I., Lobanov E.A., Filippov V.V. Razvitiye normativnoy bazy proyektirovaniya avtomobilnykh dorog s primeneniym v plane i prodolnom profile geometricheskikh elementov s nelineynym izmeneniyem krivizny / Anthology MADI (GTU) «Proyektirovaniye avtomobilnykh dorog». – M., 2002. – pp. 10-16. {in Russian}

7. Belyatynskiy A.A., Taranov A.M. Proyektirovaniye krivykh pri stroitelstve i rekonstruktsii avtomobilnykh dorog. – K.: Vishcha shkola, 1989. – 302 p. {in Russian}

8. Gokhman V.A., Vizgalov V.M., Polyakov M.P. Peresecheniya i primykaniya avtomobil'nykh dorog. — M.: Transport, 1977. — 310 pages. {in Russian}

9. DBN V.2.3-4-2000 (Sporudy transportu, Avtomobilni dorohy). Derzhbud Ukrainy. – K., 2000, 117 p. {in Ukrainian}

10. SNiP 2.05.02-85. Avtomobilnyye dorogi. Gosstroy SSSR. – M.: TSITP Gosstroya SRSR, 1986. 56 p. {in Russian}