

УДК 625.7

Піліпака Л.М.,  
 Національний університет водного господарства  
 та природокористування, м.Рівне

## ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДУ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ПРОСТОРОВОГО ПОЛОЖЕННЯ ТРАСИ АВТОМОБІЛЬНОЇ ДОРОГИ ДЛЯ ПРОЕКТУВАННЯ ГІРСЬКИХ ДОРІГ

*Показано можливість використання імітаційного проектування осей гірських доріг з використанням в якості моделі довгого пружного стрижня. Представлено основні етапи розрахунку моделі на прикладі проектування траси Яблуницького перевалу.*

**Ключові слова:** автомобільна дорога, проектування, просторове положення, перевал, математична модель, кривизна

Метод імітаційного моделювання просторового положення траси автомобільної дороги, який викладено в роботі [1] дозволяє отримати вісь траси описану просторовою кривою з плавною зміною кривизни та з неперервною до третьої похідною за рахунок моделювання траси дороги просторовою кривою зігнутої осі довгого пружного навантаженого стрижня.

Критеріями оптимальності отриманої в межах даного методу траси визначено: її динамічна плавність - виражена через мінімізацію кривизни траси та сумарної зміни її кривизни, що приведе до зменшення зміни швидкості по ній; її зорова плавність - виражена через мінімізацію кручення вздовж траси; дорожні умови вздовж траси - враховано через мінімізацію поздовжніх ухилів; об'єми земляних робіт мінімізуються шляхом зменшення протяжності траси та робочих відміток.

Цільова функція:

$$y = f \left\{ |K_1|; |K_2|; \sum_{i=1}^N |\Delta\chi_i|; \sum_i^M |\Delta\sigma_i|; \sum_j^{N-1} |i_j|; S; \sum_{i=1}^N |\Delta z_i| \right\} \rightarrow \min \quad (1)$$

при чому  $A(x_i, y_i, z_i) \in X_{AB}$  – множина можливих точок траси в межах смуги варіювання,  $i=1, \dots, N$ ,  $N$  – кількість точок траси;

$|K_1|$  - повна кривизна плану траси;

$|K_2|$  - повна кривизна поздовжнього профілю траси;

$\sum_{i=1}^N |\Delta\chi_i|$  - сумарна зміна величини кривизни вздовж ділянки,  $i=1, \dots, N$ ;

$\sum_i^M |\Delta\sigma_i|$  - сумарна зміна кручення ділянки траси,  $i=3, \dots, M$ ;  $M=N-2$ ;

$\sum_j |i_j|$  - сума поздовжніх ухилів вздовж траси,  $j=2, \dots, N-1$ ;

$S$  - протяжність траси, м;  $\sum_{i=1}^N |\Delta z_i|$  - сума робочих відміток по трасі, м.  
Граничні умови оптимізації зведено в систему нерівностей:

$$\begin{cases} K_{1i} \leq K_1^{\max} \\ K_{2i} \leq K_2^{\max} \\ \Delta \chi_i \leq \Delta \chi^{\max} \\ \sigma_i \rightarrow 0 \\ i_i \leq i^{\max} \\ \Delta z_i \rightarrow 0 \end{cases} \quad (2)$$

Таким чином, сутність пошуку оптимальної форми кривої в межах методу імітаційного проектування для заданої категорії дороги, що проектується, заданих умов місцевості та інфраструктури території проектування полягає в знаходженні такої кривої, яка відповідатиме сукупному критерію, що враховує як планове, так і, одночасно, профільне положення дороги, тобто перетворює цільову функцію у мінімум.

Приклади використання методу імітаційного проектування для нового будівництва та реконструкції автомобільних доріг наводилися автором раніше [2, 3]. Покажемо застосування методу імітаційного проектування траси для проектування гірських доріг.

Просторова кривизна є дуже важливою для гірських доріг, тому що проїзд по ним пов'язаний із збільшенням витрати палива, з високими експлуатаційними витратами палива. Найбільш складними та небезпечними для руху є ділянки перевалів.

Розглянемо повний розрахунок перевальної ділянки по трасі Н-09 довжиною 1км в Карпатах. Траса Н-09 – це головна транскарпатська автомагістраль південно-східної половини Карпатського регіону України, яка через Яблуницький перевал зв'язує м. Івано-Франківськ з Румунією, Угорщиною і Словаччиною. Існуюча перевальна ділянка є дорогою третьої категорії. Розрахункова швидкість – 50км/год [4].

**Послідовність розрахунку. I етап розрахунку. Підготовчий.** Маючи цифровий варіант зйомки потрібної ділянки дороги (модель місцевості взято з сервісу Google Earth), в програмі AutoCAD створюємо розрахункову схему моделюючої конструкції. Для цього з'єднуємо початкову і кінцеву точки майбутньої траси. На цій лінії розміщуємо моделюючий стрижень, опори якого співпадають з кінцевою і початковою точками ділянки, що проектується. (див.рис.1) Відмітка площини, в якій лежить моделюючий стрижень, дорівнює відмітці початкової точки траси – 888,75. Розбиваємо основний стрижень на елементи. Крок розбиття прийнято 25м. Кількість вузлів – 38.

**Перший варіант траси** – одна контрольна точка: на перевалі (вузол 18, відмітка 921м); задані вертикальні переміщення контрольної та кінцевої точки,

кут повороту в кінці траси  $48^\circ$ .

**Другий варіант траси** – дві контрольні точки: на перевалі (вузол 18, відмітка 921м та вузол 31, відмітка 900м); задані вертикальні переміщення контрольної та кінцевої точки, кут повороту в кінці траси  $39^\circ$ .

**II етап розрахунку. Основний.** Виконуємо статичний розрахунок геометрично нелінійних стрижневих конструкцій, які моделюють варіанти трас, на задані переміщення. Отримуємо зігнуту вісь стрижнів, а отже просторову криву трас, яка проходить через контрольні точки, задані переміщеннями відповідних вузлів, в першому наближенні. Після додавання розподіленого навантаження отримуємо просторові криві, величини радіусів кривизни яких є більшими за мінімальні визначені з розрахунку дотримання розрахункової швидкості. На рис. 2 показано вісь моделюючого стрижня з прикладеними остаточними навантаженнями для другого варіанту траси.



Рис.1. Запроектовані варіанти трас в плані

Після розрахунку моделюючих стрижнів переносимо їхні осі на цифрову модель поверхні рельєфу. Варіанти нових трас та існуюча траса дороги Н-09 показані на рис.2, загальний вигляд поздовжнього профілю для другого варіанту – на рис.3.

Важливим критерієм безпеки руху на гірських трасах є поздовжній ухил дороги. Для ділянки, що розглядається, було прийнято максимальне значення поздовжнього ухилу - 80‰. На рис.4 наведено графік зміни поздовжнього ухилу вздовж траси за другим варіантом.

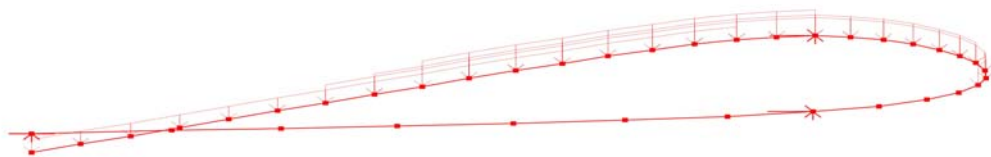


Рис.2. Навантажена вісь моделюючого стрижня в проекції на площину ZOY.

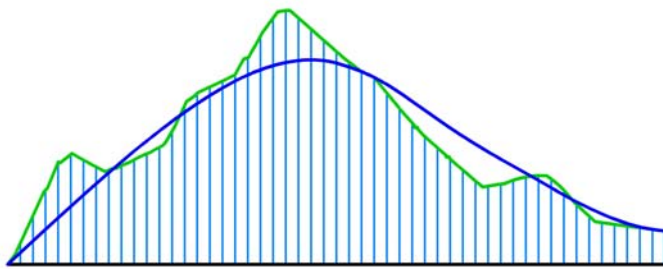


Рис. 3. Поздовжній профіль ділянки перевалу (другий варіант траси)

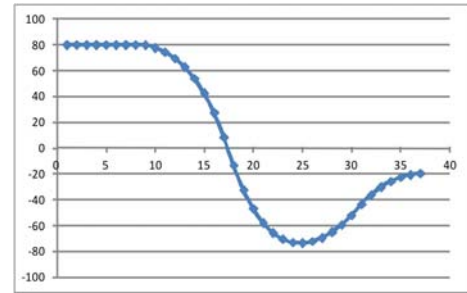


Рис. 4. Зміна ухилів вздовж ділянки

На відміну від рівнинної місцевості, де поздовжній профіль дає повну можливість уявити собі розташування дороги на місцевості і конструкцію її земляного полотна в кожній точці, в гірській місцевості при прокладанні дороги по косогору робоча відмітка по осі дороги не характеризує поперечний профіль і обсяги земляних робіт. Це пов'язано з тим, що при одній і тій самій відмітці по осі дороги при різній крутизні косогору краям земляного полотна можуть відповідати більші чи менші виїмки, насипи і підпирні стінки. Через часті зміни рельєфу схилів робочі відмітки земляного полотна істотно змінюються на малій протяжності дороги. Тому при проектуванні поздовжнього профілю доріг в гірській місцевості положення земляного полотна весь час контролюють по поперечним профілям, домагаючись, щоб при заданому ухилі проектної лінії досягалося стійке положення земляного полотна без влаштування підпирних стінок і по можливості урівноваження обсягів насипної частини і виїмок.

Різні вигляди поперечних профілів для першого та другого варіанта запроєктованих трас наведено на рис.5 (червоні лінії профілю - перший варіант траси, сині - другий). Як видно з рисунку додавання нових контрольних точок поряд з контролем отриманих поперечних профілів дозволяє зменшити об'єми земляних робіт.

На нашу думку запропонований метод може бути застосований як доповнення до існуючих методів, зокрема тих, що використовуються в САПР CREDO [5].

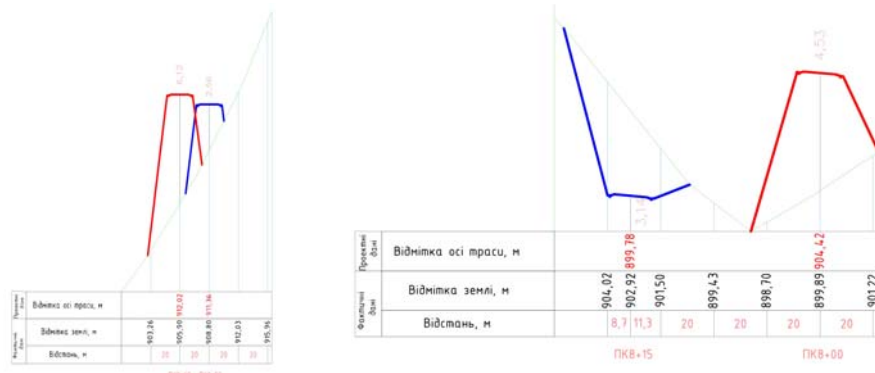


Рис.5.

Оптимізація кривизни трас гірських доріг поряд з мінімізацією земляних робіт дозволить зменшити транспортно-експлуатаційні витрати та підвищити безпеку руху. Імітаційний метод проектування траси автомобільної дороги може бути використаний з цією метою.

### Література

1. Піліпака Л.М. Імітаційне проектування просторового положення траси // Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. Збірник наукових праць. – Рівне: НУВГП, 2008. – Вип.1(41). – с.212-218.
2. Піліпака Л.М. Імітаційне проектування траси автомобільної дороги на прикладі реконструкції ділянки траси автодороги Київ-Чоп // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета. Сборник научных трудов. – Харків: ХНАДУ, 2008. – Вип.43. – с.92-94.
3. Гайдукевич В.А. Кількісні критерії оцінки траси, запроєктованої імітаційним методом / Гайдукевич В.А., Піліпака Л.М. // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. Наук.-тех. збірник. – Київ: НТУ, 2009. – Вип.77. – с.3-8.
4. ДБН В.2.3-4-2007 (Споруди транспорту, Автомобільні дороги). Київ, Мінрегіонбуд України, 2007, 90 с.
5. Величко Г.В., Філіппов В.В. Функціональні властивості перехідної кривої змінної швидкості руху. Автошляховик України, №, 4, 2008. - С. 29-32

### Аннотація

В статті показана можливість використання імітаційного проектування осей горних доріг з використанням в якості моделі довгого еластичного стержня. Представлені основні етапи розрахунку моделі на прикладі проектування траси Яблуницького перевала.

**Ключевые слова:** автомобильная дорога, проектирование, пространственное положение, перевал, математическая модель, кривизна

### Abstract

The article shows the use of imitational designing for designing of mountain roads, with using of long elastic rod as a model. The main stages of model calculation Yablunyskyi pass route are presented as an example.

**Keywords:** road design, spatial position, pass, mathematical model, curvature