

АВТОМОБІЛЬНІ ДОРОГИ



УДК 625.7/8

- © Н.В. Смирнова, канд. техн. наук, доцент,
- © Н.В. Павленко, канд. техн. наук, доцент (ХНАДУ)

ОБҐРУНТУВАННЯ ВИМОГ ДО СПОЛУЧЕНЬ ПОЗДОВЖНЬОГО ПРОФІЛЮ ЗА ПОКАЗНИКАМИ ПЛАВНОСТІ РУХУ ТА ПРОЕКТНОЇ НЕРІВНОСТІ

Анотація. Представлено удосконалення методу оцінки рівності поверхні проїзної частини в проектах будівництва та ремонту автомобільних доріг на основі дослідження процесів впливу елементів проїзної частини на коливальну систему автомобіля і плавність руху. Наведено моделювання оцінки параметрів сполучень поздовжнього профілю за показниками плавності руху та проектної нерівності

Ключові слова: автомобільна дорога, проектна початкова нерівність, поздовжній профіль, плавність руху, віброшвидкість, віброприскорення.

Аннотация. Представлено усовершенствование метода оценки ровности поверхности проезжей части в проектах строительства и ремонта автомобильных дорог на основе исследования процессов влияния элементов проезжей части на колебательную систему автомобиля и плавность движения. Приведено моделирование оценки параметров сопряжений продольного профиля по показателям плавности движения и проектной неровности.

Ключевые слова: автомобильная дорога, проектная начальная неровность, продольный профиль, плавность движения, виброскорость, виброускорение.

Annotation. Presented by improving the method of assessing the evenness of the surface of the roadway in the projects of construction and repair of roads, based on the study of processes of influence elements of the roadway on the oscillating system of the car and fluidity of movement. Powered modeling estimates of the parameters of interfaces longitudinal profile in terms of the smoothness of motion and design irregularities.

Keywords: road, the project initial roughness, longitudinal profile, smooth motion, velocity, vibration acceleration.

Вступ

Згідно з ДБН В.2.3-4 [1] проектування поздовжнього профілю автомобільної дороги слід виконувати виходячи з інтенсивності руху, умов забезпечення безпеки та комфортності руху транспортних засобів. Причиною формування істотних проектних нерівностей є: недостатнє обґрунтування в ДБН В.2.3-4 [1] параметрів сполучень поздовжнього профілю, що допускають значні переломи в поздовжньому профілі і недосконалі сполучення його елементів; відсутність вимог до плавності руху і методів оцінки нерівності в проектах будівництва та ремонтів доріг; відсутність методик проектування вирівнювання проїзної частини.

Зниження початкової проектної нерівності засобами проектування дозволяє збільшити міжремонтні строки, знизити експлуатаційні витрати дорожньої служби й автотранспортників, підвищити плавність руху.

Необхідне удосконалення методів підвищення рівності поверхні проїзної частини в проектах будівництва

та ремонту автомобільних доріг на основі дослідження процесів впливу елементів проїзної частини на коливальну систему автомобіля і плавність руху. Результати дослідження дозволяють обґрунтувати параметри сполучень проектного поздовжнього профілю за критерієм допустимої початкової проектної нерівності.

Основна частина

Нерівності викликають вертикальні, поздовжні і поперечні коливання автомобіля, які порушують плавність ходу автомобілів та призводять до неприємних відчуттів і стомлюваності пасажирів та водіїв. У проектах капітального ремонту та реконструкції вже на стадії проектування поздовжнього профілю закладається початкова, проектна нерівність. Під початковою або проектною мається на увазі нерівність, яка закладається при проектуванні поздовжнього профілю сполученням його елементів. У процесі експлуатації дороги нерівності проїзної частини поступово накопичуються, починаючи не від нуля, не від ідеально рівної поверхні,



а від початкової нерівності. Після будівництва та здачі дороги в експлуатацію початковий рівень нерівності досить високий і обумовлений не тільки недосконалістю дорожньо-будівельної техніки, властивостями дорожньо-будівельних матеріалів і технологією виробництва робіт, але й якістю проектів будівництва та ремонту дороги. Для оцінки тієї частини початкової нерівності, яка залежить від якості проектних рішень, зі всіх коливань автомобіля виділені ті коливання, що спричиняються сполученнями поздовжнього профілю дороги. Це дозволяє оцінити початкові показники плавності ходу автомобіля та початкову проектну нерівність покриття. Моделюючи дію сполучень поздовжнього профілю на коливальну систему автомобіля, показники плавності ходу оцінюються значеннями вертикальних віброприскорень і вертикальних віброшвидкостей, а рівність покриття – показниками поштовхоміра. Аналізуючи коливання автомобіля під час проїзду по нерівній поверхні проїзної частини дороги, автомобіль замінюють еквівалентною коливальною системою, яка у загальному випадку складається з підресорної маси та безпружинних частин, зв'язаних між собою.

Для характеристики рівності дорожнього покриття, при використанні поштовхоміра, не оцінюється плавність ходу автомобіля за показниками віброшвидкості і віброприскорення, до яких чутливий людський організм. Горизонтальні коливання уздовж поздовжньої осі автомобіля переносяться пасажирами значно гірше, ніж вертикальні. Пасажир може переносити в горизонтальному поздовжньому напрямку коливання, інтенсивність яких становить 20 – 25 % від інтенсивності вертикальних коливань. Граничними значеннями прискорень вантажу, з точки зору його збереження, вважають 588,60 – 686,7 см/с².

У ДСТУ ГОСТ 12.1.012 [2] встановлені такі норми вібронавантаженості для різних частот коливань – табл. 1.

Таблиця 1

Граничні значення вертикальних віброприскорень та віброшвидкостей

Середні геометричні значення частот смуг, Гц	1	1,3	1,8	2	4
Віброприскорення, м/с ²	1,10	1,01	0,85	0,79	0,57
Віброшвидкості, м/с	0,200	0,160	0,097	0,071	0,025

Розподіл початкової нерівності між технологіями і проектувальниками оцінюють, використовуючи методику розрахунку макронерівностей нівелюванням з кроком 5 м. На ділянках сполучень елементів проектного профілю до технологічної нерівності додаються проектні нерівності. Ці проектні нерівності повинні бути такими, щоб порушувати коливання автомобіля не більше ніж 20 – 25 см/км, з тим, щоб в сумі з технологічної нерівністю вони не перевищили 40 – 50 см/км. Тому можна вважати, що початковий рівень поділений порівну між проектувальниками і технологіями. У табл. 2 наведені розраховані, таким чином, значення

граничної проектної нерівності в залежності від категорії дороги і матеріалу покриття.

Таблиця 2

Гранична допустима проектна нерівність поверхні покриття

Матеріал покриття	Гранична проектна нерівність поверхні покриття в залежності від категорії дороги, см/км			
	I	II	III	IV
Асфальтобетон	20	22	25	30
Цементобетон	20	22	25	30
Поверхнева обробка	22	25	35	40

Вихідні дані для моделювання коливальної системи автомобіля (схема коливальної системи автомобіля наведена на рис. 1):

а) параметри підвіски автомобіля:

- 1) підресорна маса $m_{\text{пд}}$, кг;
- 2) коефіцієнт опору амортизатора, що характеризує затухання в підвісці k , Нс/м;
- 3) жорсткість підвіски c_p , Н/м;
- 4) жорсткість шини $c_{\text{ш}}$, Н/м;
- 5) частота коливань підресорної маси w_0 , Гц;
- 6) коефіцієнт загасання коливань підресорної маси ψ_0 ;

б) параметри поздовжнього профілю:

- 1) вертикальна відмітка профілю q , м;
- 2) горизонтальна координата профілю x , м;
- 3) поздовжній похил елемента сполучення профілю i , %о;
- 4) радіус елемента сполучення профілю R , м.

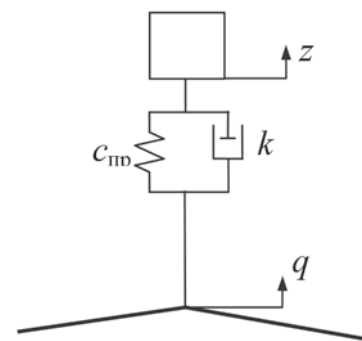


Рис. 1. Коливальна система автомобіля з одним ступенем свободи

Загальні диференціальні рівняння коливання автомобіля зводяться до системи [3, 4]:

$$\begin{cases} z'' + 2h_0 z' + \omega_0^2 z - 2h_0 \xi' - \omega_0^2 \xi = 0; \\ \xi'' + 2h_{k0} \xi' + \omega_k^2 \xi - 2h_{k0} \omega_i^2 z = \omega_{ki}^2 q(v_a, t), \end{cases} \quad (1)$$

де $q(v_a, t)$ – профіль нерівності, v_a – швидкість автомобіля, м/с; t – час, с;

z'' – вертикальне прискорення, м/с²;

z' – вертикальна швидкість, м/с.



Методика щодо обґрунтування вимог до сполучень поздовжнього профілю за показниками плавності руху та початкової нерівності полягає в наступному.

1. Аналізують вид сполучень елементів поздовжнього профілю (пряма – пряма; пряма – крива; крива – пряма; крива – крива; пряма – сплайн; крива – сплайн; сплайн – пряма; сплайн – крива; сплайн – сплайн) та оцінюють параметри кожного з елементів сполучення з точки зору плавності.

Вплив сполучення поздовжнього профілю на коливальну систему автомобіля починається з моменту в'їзду автомобіля на це сполучення. Зазвичай сполучення розташовані досить далеко один від одного. Тому можна вважати, що на підході до сполучення підресорна маса автомобіля зайняла стійке положення з деякими значеннями вертикальної координати z , вертикальної швидкості z' і вертикального прискорення z'' .

2. Залежно від виду сполучення другий елемент проектного сполучення профілю визначають за формулою:

$$q = a + bx + cx^2 + dx^3, \quad (2)$$

де a, b, c, d – коефіцієнти, що залежать від зовнішньої дії $Q(t)$, визначають за типом сполучення елементів профілю;

x – шлях, що пройшов автомобіль при проїзді сполучення поздовжнього профілю, м;

q – вертикальна координата точки контакту шини з проїзною частиною, м.

Для аналізу впливу видів сполучень профілю на плавність руху автомобіля прийнято припущення, що рух відбувається з постійною швидкістю v .

Тоді: $x = vt$, де v – швидкість автомобіля, м/с, t – час руху, с.

3. Знаходять рішення для профілю шляху автомобіля, починаючи від точки сполучення:

$$q = \alpha_1 + \beta_1 t + \gamma_1 t^2 + \delta_1 t^3, \quad (3)$$

де коефіцієнти відповідно дорівнюють:

$$\alpha_1 = a, \quad \beta_1 = bv, \quad \gamma_1 = cv^2 \quad \text{і} \quad \delta_1 = dv^3.$$

4. Знаходять коефіцієнти a, b, c, d відповідно до параметрів елемента. Залежно від типу елемента деякі коефіцієнти можуть дорівнювати нулю.

5. Згідно з теорією коливань автомобіля для визначення характеристик вібронавантажності необхідно знати амплітудно-частотну характеристику коливальної системи, яка називається зовнішнім впливом від проїзду сполучень елементів поздовжнього профілю і позначена $Q(t)$. Від зовнішнього впливу залежить величина вертикального віброприскорення при проїзді нерівності.

Знаходять зовнішню дію $Q(t)$ профілю на коливальну систему автомобіля:

$$Q(t) = h_0(\beta_1 + 2\gamma_1 t + 3\delta_1 t^2) + \omega_0^2(\alpha_1 + \beta_1 t + \gamma_1 t^2 + \delta_1 t^3), \quad (4)$$

де h_0 – коефіцієнт загасань підресорної маси;

ω_0 – частота коливань підресорної маси, Гц.

При задовільній підвісці частота коливань ω_0 підресорної маси становить для легкових автомобілів

(0,8 – 1,3) Гц (5,00 – 8,16) рад/с; для вантажних автомобілів – (1,2 – 1,8) Гц (7,54 – 11,31) рад/с. При таких частотах та при $\psi_0 = 0,20$ коефіцієнт затухань підресорної маси h_0 складатиме для легкових автомобілів (0,32 – 0,52) Гц (2,00 – 3,26) рад/с; для вантажних автомобілів – (0,48 – 0,72) Гц (3,06 – 4,52) рад/с.

6. Знаходять вертикальну координату z :

$$z = [c_1 \sin(\omega_1 t) + c_2 \cos(\omega_1 t)] \times e^{(-0,5h_0 t)} + \alpha + \beta t + \gamma t^2 + \delta t^3, \quad (5)$$

де константи c_1 і c_2 знаходять (залежно від початкових умов z_0 і z_0' , які визначаються типом першого елемента сполучення) за формулами:

$$c_1 = (i_2 v + 0,5h_0 c_2 - \beta) / \omega_1 \quad (6)$$

$$c_2 = z_0 - a. \quad (7)$$

7. Частоту ω_1 розраховують, використовуючи відносний коефіцієнт загасання коливань підресорної маси ψ_0 :

$$\omega_1 = \omega_0 \sqrt{1 - \psi_0^2}; \quad (8)$$

коефіцієнти a, b, g, d знаходять за формулами:

$$\alpha = \alpha_1 - 2\gamma_1 / \omega_0^2 + 6h_0 \delta_1 / \omega_0^4, \quad (9)$$

$$\beta = \beta_1 - 6\delta_1 / \omega_0^2, \quad (10)$$

$$\gamma = \gamma_1, \quad (11)$$

$$\delta = \delta_1. \quad (12)$$

8. Знаходять вертикальну віброшвидкість z' :

$$z' = \exp(-0,5h_0 t) [(c_1 \omega_1 - 0,5h_0 c_2) \cos(\omega_1 t) - (c_2 \omega_1 + 0,5h_0 c_1) \sin(\omega_1 t)] + \beta + 2\gamma t + 3\delta t^2 \quad (13)$$

9. Знаходять вертикальне віброприскорення z'' :

$$z'' = Q(t) - h_0 z' - \omega_0^2 z. \quad (14)$$

10. Нерівність за поштовхоміром на сполученні будь-якого типу обчислюють за формулою:

$$S_c = \frac{1000}{v t_s} \sum |z_k - z_{k-1}| / 2, \quad (15)$$

де v – швидкість автомобіля, м/с,

t_s – час суми різниці амплітуд, с,

$\sum |z_k - z_{k-1}|$ – сума амплітуд, см.

Аналізують отримані результати. Значення вертикальних віброшвидкостей та віброприскорень повинні залишатися в межах значень, наведених у **табл. 1**. Значення показників поштовхоміра повинні залишатися в межах значень рекомендованої граничної проектно нерівності, наведених у **табл. 2**. Якщо всі отримані показники відповідають рекомендованим значенням, параметри технічного рівня сполучень профілю, що проектується, можна вважати задовільними.

Розрахунки, отримання та аналіз результатів досліджень в проектах нового будівництва, реконструкції та капітального ремонту автомобільних доріг доцільно виконувати автоматизовано за допомогою модуля *RIP*. Програма дозволяє оперативно оцінювати параметри



сполучень поздовжнього профілю за показниками плавності руху та проектної нерівності.

Вихідними даними для оцінювання є:

- тип сполучення: (поодинокі нерівності; пряма – пряма; пряма – крива; крива – пряма; крива – крива; пряма – сплайн; крива – сплайн; сплайн – пряма; сплайн – крива; сплайн – сплайн) (рис. 2);
- тип розрахунку (за частотою; за параметрами підвіски);
- дані про дорогу, що включають параметри сполучень профілю та чутливість поштовхоміра (рис. 3);
- дані про автомобіль (швидкість автомобіля, підресорена маса, жорсткість підвіски, жорсткість шини, відносний коефіцієнт затухання, частота коливань підресорної маси).

Результати моделювання: рівність за поштовхоміром; сума амплітуд коливань; максимальна амплітуда; максимальна вертикальна швидкість; максимальне вертикальне прискорення.

Меню “Тип сполучення” – основний показник, що впливає на формування початкової проектної нерівності.

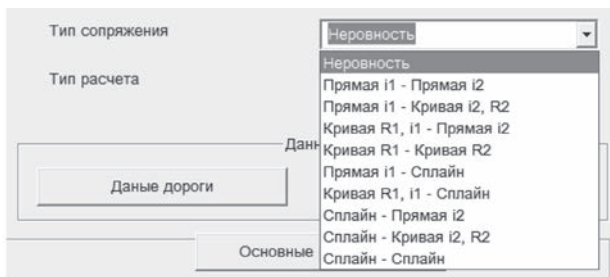


Рис. 2. Інструменти функції “Тип сполучення”

Розрахунок можна виконувати як за даними щодо частоти або за даними щодо параметрів підвіски автомобіля. Всі дані внесені в базу програмного модуля і можуть бути доповнені або скореговані за необхідністю користувачем.

Функцію “Дані дороги” призначено для розрахунку проектної нерівності за умови відомих значень параметрів основних елементів вибраного раніше типу сполучень.

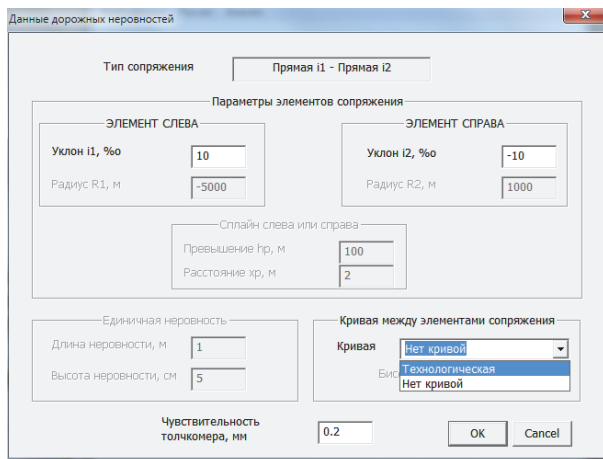


Рис. 3. Діалогове вікно “Дані дорожніх нерівностей”

Результати моделювання впливу сполучень елементів поздовжнього профілю на коливальну систему автомобіля і моделювання роботи поштовхоміра

Елемент	Величина
Сума амплітуд A , см	26,3
Сума амплітуд за час T , с	5,6
Сума амплітуд на відстані L , м	93,3
Рівність за поштовхоміром S_p , см/км	282
Максимальна амплітуда, см	10,7
Максимальна вертикальна швидкість, м/с	0,3
Максимальне вертикальне прискорення, м/с ²	0,7

Висновки

Підвищення технічного рівня існуючих доріг входить до переліку пріоритетних напрямів розвитку дорожньої галузі України. Якість проектів ремонту та реконструкції на багато років наперед визначає основні транспортно-експлуатаційні якості автомобільної дороги. Одне з трудомістких і основних завдань у цих проектах – це вирівнювання поверхні проїзної частини з виправленням деформацій поперечного і поздовжнього профілю. При цьому формується початкова нерівність проїзної частини.

У результаті дослідження розроблена математична модель дії елементів проектної поверхні проїзної частини на коливальну систему автомобіля за показниками плавності руху; встановлені залежності показників плавності руху та проектної нерівності від параметрів сполучень поздовжнього профілю; удосконалено обґрунтування вимог до параметрів сполучень поздовжнього профілю за показниками плавності руху.

ЛІТЕРАТУРА

1. ДБН В.2.3-4-2007. Споруди транспорту. Автомобільні дороги. – К.: Держбуд України, 2007. – 117 с.
2. ДСТУ ГОСТ 12.1.012:2008. Система стандартів безпеки праці. Вібраційна безпека. Загальні вимоги. – К.: ВЦСПС, 2009.
3. Литвинов А.С., Фаробин Я.Е. Автомобиль: Теория эксплуатационных свойств: Учебник для вузов по специальности “Автомобили и автомобильное хозяйство”. – М.: Машиностроение, 1989. – 240 с.
4. Автомобили: Теория эксплуатационных свойств: учебник / Под ред. А.М. Иванова. – 1-е изд. – М., 2013. – 176 с.