

Кіяшко Д.І.

## ОБҐРУНТУВАННЯ ПОКАЗНИКІВ ПОЗДОВЖНЬОЇ РІВНОСТІ ДОРОЖНІХ ПОКРИТТІВ З ВРАХУВАННЯМ ВІБРОНАВАНТАЖЕННЯ ДІЮЧОГО НА ВОДІЯ ТА ПАСАЖИРІВ

**Анотація.** У роботі наведено дослідження впливу одиночної нерівності, та випадкових мікропрофілів дорожніх покриттів на споживачів дорожніх послуг. Обґрунтовані значення поздовжньої рівності дорожніх покриттів за показником IRI та спектральної щільності дисперсії, використовуючи нормативні значення вібронавантаження діючого на водія та пасажирів.

**Ключові слова:** проїзна частина, рівність, повна модель автомобіля, спектральна щільність дисперсії, комфорт їзди, загальна вібрація.

**Аннотация.** В работе приведено исследования влияния единичной неровности и случайных микропрофилей дорожных покрытий на потребителей дорожных услуг. Обоснованы значения продольной ровности дорожных покрытий по показателям IRI и спектральной плотности дисперсии используя нормативные значения вибронагрузки воздействующей на водителя и пассажиров.

**Ключевые слова:** проезжая часть, ровность, полная модель автомобиля, спектральная плотность дисперсии, комфорт езды, общая вибрация.

**Annotation.** The investigate influence of single bumps, and random microprofile of road pavements to consumers of road services are analyzed in the given article. The values of longitudinal pavement evenness in terms of the power spectral density and IRI using normative values of vibration acting on driver and passengers are substantiated.

**Key words:** pavement, roughness, full-car model, power spectral density, ride comfort, whole body vibration (WBV).

Основним показником за яким користувачі дорожніх послуг (водії та пасажирів) оцінюють якісний стан автомобільної дороги є рівність. Вона першочергово впливає на плавність ходу автомобіля, на експлуатаційно-технічні властивості автомобіля (знижується середня швидкість руху, міжремонтний пробіг і продуктивність автомобіля, зростає витрата палива та ін.) та на транспортне забруднення (зростає транспортний шум, вібрація, викиди різних газоподібних речовин, викиди продуктів зношування шин та дорожнього полотна). Тому саме від безпомилково обґрунтованих і узгоджених нормативних показників рівності дорожніх покриттів залежить успішне функціонування автомобільного транспорту та автомобільних доріг, в першу чергу підвищення комфортабельності, надійності, продуктивності і економічності автомобіля, безпеки дорожнього руху та поліпшення стану навколишнього середовища.

**Мета роботи** полягає в обґрунтуванні нормативно-граничного рівня показників рівності дорожніх покриттів використовуючи критерій забезпечення граничного рівня безпеки та комфорту руху водія і пасажирів. Для рішення цієї мети необхідно розробити наступні математичні моделі: коливання автомобіля, водія та пасажирів(модель I) та нерівностей покриття (модель II).

## **I. Моделювання коливань автомобіля, водія та пасажирів**

Для обґрунтування нормативних значень рівності дорожніх покриттів, використовуємо еквівалентну коливальну систему, що відповідає повної моделі автомобіля з місцями сидінь водія і пасажирів, диференціальні рівняння та розрахункову схему наведено у раніше опублікованій статті [1]. Значення параметрів розрахункового автомобіля, використаного для моделювання, представлені в таблиці 1. Використані параметри були отримані шляхом аналізу різних джерел [2-7]. Дані для кожного класу автомобіля об'єднувалися, тому параметри, які наведені в таблиці 1, не представляють ніякої конкретної марки транспортного засобу, при цьому мета полягала в тому, щоб відтворити реальне поведіння об'єкта в спеціально створених умовах

**Таблиця 1 – Параметри моделі при різних швидкостях моделювання**

Параметри		Од. вим.	Швидкість (км/год)		
			20-50	50-90	100-150
$m$	Підресорена маса	кг	1770		
$m_{\text{в}}$	Приведена маса водія	кг	75		
$m_{\text{п}}$	Приведена маса пасажира	кг	75		
$m_{\text{к1}}$	Передня/ліва невіднес. маса	кг	98		
$m_{\text{к2}}$	Передня/права невіднес. маса				
$m_{\text{к3}}$	Задня/права невіднес. маса	кг	196		
$m_{\text{к4}}$	Задня/ліва невіднес. маса				
$\kappa_{\text{п1}}, \kappa_{\text{п2}}$	Демпфірування амортизаторів на передній осі (на одному колесі)	Н*с/м	1724	2369	3283
$\kappa_{\text{п3}}, \kappa_{\text{п4}}$	Демпфірування амортизаторів на задній осі (на одному колесі)	Н*с/м	3277	4504	6240
$\kappa_{\text{ш1}}, \kappa_{\text{ш2}}$	Демпфірування шини на передній осі (на одному колесі)	Н*с/м	400		
$\kappa_{\text{ш3}}, \kappa_{\text{ш4}}$	Демпфірування шини на задній осі (на одному колесі)	Н*с/м			
$\kappa_{\text{в}}$	Демпфірування сидіння водія	Н*с/м	565	746	1076
$\kappa_{\text{п}}$	Демпфірування сидіння пасажира	Н*с/м			
$\kappa_{\text{п1}}, \kappa_{\text{п2}}$	Жорсткість ресор на передній осі (на одному колесі)	Н/м	27079	37219	51571
$\kappa_{\text{п3}}, \kappa_{\text{п4}}$	Жорсткість ресор на задній осі (на одному колесі)	Н/м	51451	70717	97986
$\kappa_{\text{ш1}}, \kappa_{\text{ш2}}$	Жорсткість шини на передній осі (на одному колесі)	Н/м	370768		
$\kappa_{\text{ш3}}, \kappa_{\text{ш4}}$	Жорсткість шини на задній осі (на одному колесі)	Н/м	780802		
$\kappa_{\text{в}}$	Жорсткість сидіння водія	Н/м	26620	36580	50696
$\kappa_{\text{п}}$	Жорсткість сидіння пасажира	Н/м			
$J_{\text{y}}$	Момент інерції щодо поздовжньої осі	Н*м*с <sup>2</sup>	1200		
$J_{\text{x}}$	Момент інерції щодо поперечної осі	Н*м*с <sup>2</sup>	752		
$L'_{\text{л}}, L'_{\text{п}}$	Половина колії автомобіля	м	0,85		
$L'_{\text{л}}$	Відстань між віссю переднього моста та центром ваги автомобіля	м	1,45		
$L'_{\text{п}}$	Відстань між віссю заднього моста та центром ваги автомобіля	м			
$L'_{\text{в}}$	Поздовжня відстань між центром ваги сидіння водія та центром ваги автомобіля	м	0,06		
$L'_{\text{пс}}$	Поздовжня відстань між центром ваги сидіння пасажира та центром ваги автом.	м	-0,08		
$L''_{\text{в}}$	Поперечна відстань між центром ваги сидіння водія та центром ваги автомобіля	м	-0,15		
$L''_{\text{пс}}$	Поперечна відстань між центром ваги сидіння пасажира та центром ваги автомобіля	м	-0,15		

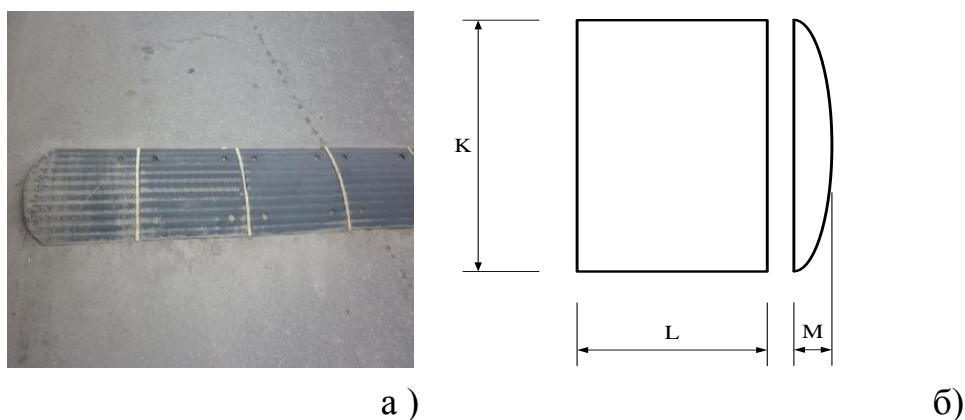
## II. Моделювання нерівностей покриття

З метою тестування прийнятої імітаційної моделі на предмет можливості відтворення реального поведіння об'єкта в спеціально створених умовах виконано безпосереднє порівняння результатів теоретичного розрахунку та

натурного експерименту в широкій області зміни геометричних розмірів нерівностей, для цього було проведено наступні експериментальні і теоретичні дослідження: впливу одиночної нерівності на користувачів дорожніх послуг та впливу випадкових мікропрофілів дорожніх покриттів на користувачів дорожніх послуг.

### III. Дослідження впливу одиночної нерівності на користувачів дорожніх послуг

Для даного дослідження обрана ділянка міської вулиці Пушкінська, яка належить до транспортної мережі м. Харкова довжиною 40 м, на якій розташовувалась одиночна фіксована дорожня нерівність (пристрій примусового зниження швидкості I типу (рис. 1а)), з нормованими геометричними розмірами [8]:  $K=50$  см,  $L=50$  см,  $M=5$  см (рис. 1б). Відліки віброприскорень отримано віброакселерометром AP98-100-01, який було встановлено на автомобіль – лабораторію ГАЗ 2705 (рис.2), експеримент проводився при температурі повітря  $26^{\circ}\text{C}$ .



**Рисунок 1** – Пристрій примусового зниження швидкості I типу

Для реєстрації та визначення вібрації на місці сидіння водія датчик був закріплений відповідно до діючих норм [9] на проміжному диску (рис.2), та укладався на середині сидіння. Водій масою  $(75,00 \pm 0,75)$  кг здійснював посадку безпосередньо на дану конструкцію. При вимірах вібрації проміжна платформа встановлювалась на поверхню подушки сидіння та закріплювалась за допомогою стрічки таким чином, щоб акселерометр розташовувався посередині між сідничними буграми водія (пасажира), що знаходиться на сидінні.



**Рисунок 2** – Розташування віброакселерометру на місці сидіння водія автомобіля ГАЗ 2705

У результаті експерименту визначено амплітудо – часові характеристики віброприскорень (рис. 3) на місці сидіння водія при різних швидкостях руху (20, 30, 40, 50 км/год). Також для встановлення кореляційного зв'язку між експериментальними та теоретичними дослідженнями було виконано моделювання одиничної дорожньої нерівності, використовуючи нормовані геометричні розміри пристрою примусового зниження швидкості I типу. Крок мікропрофілю дорівнював 0,25м, довжина профілю 40м. Вертикальна координата  $q$  визначалась наступним рівнянням:

$$q = q_0 \left( 1 - \cos 2\pi \frac{x}{s} \right) = q_0 (1 - \cos vt), \quad (1)$$

де  $q_0$  – амплітуда хвилі, м;

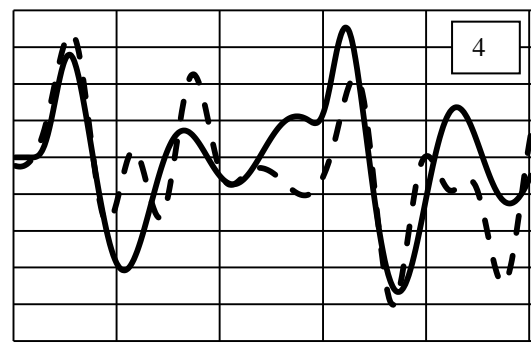
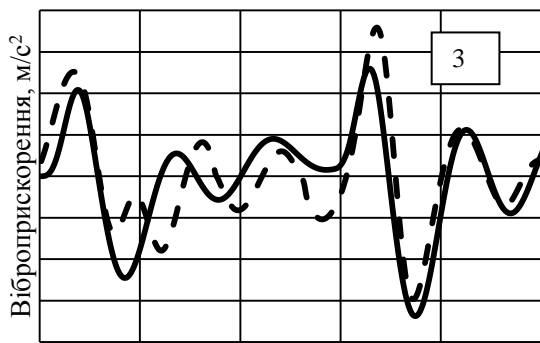
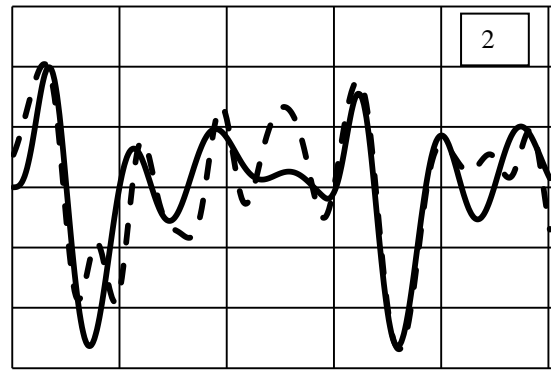
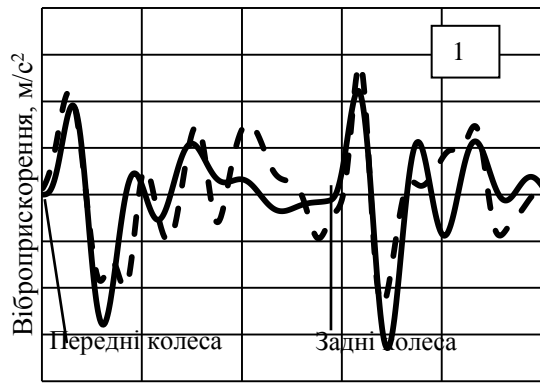
$x$  – поточна горизонтальна координата (при рівномірному русі  $x=Vt$ ), м;

$s$  – довжина хвилі нерівності, м;

$v$  – частота дії сили, що обурює, Гц;

$t$  – час руху моделі автомобіля до поточної горизонтальної координати, с.

Використовуючи мікропрофіль довжиною 40 м виконано моделювання повної моделі автомобіля з місцями сидінь водія та пасажирів. Результати моделювання та експерименту приведені в графічному вигляді на рис. 3.



Відстань, м

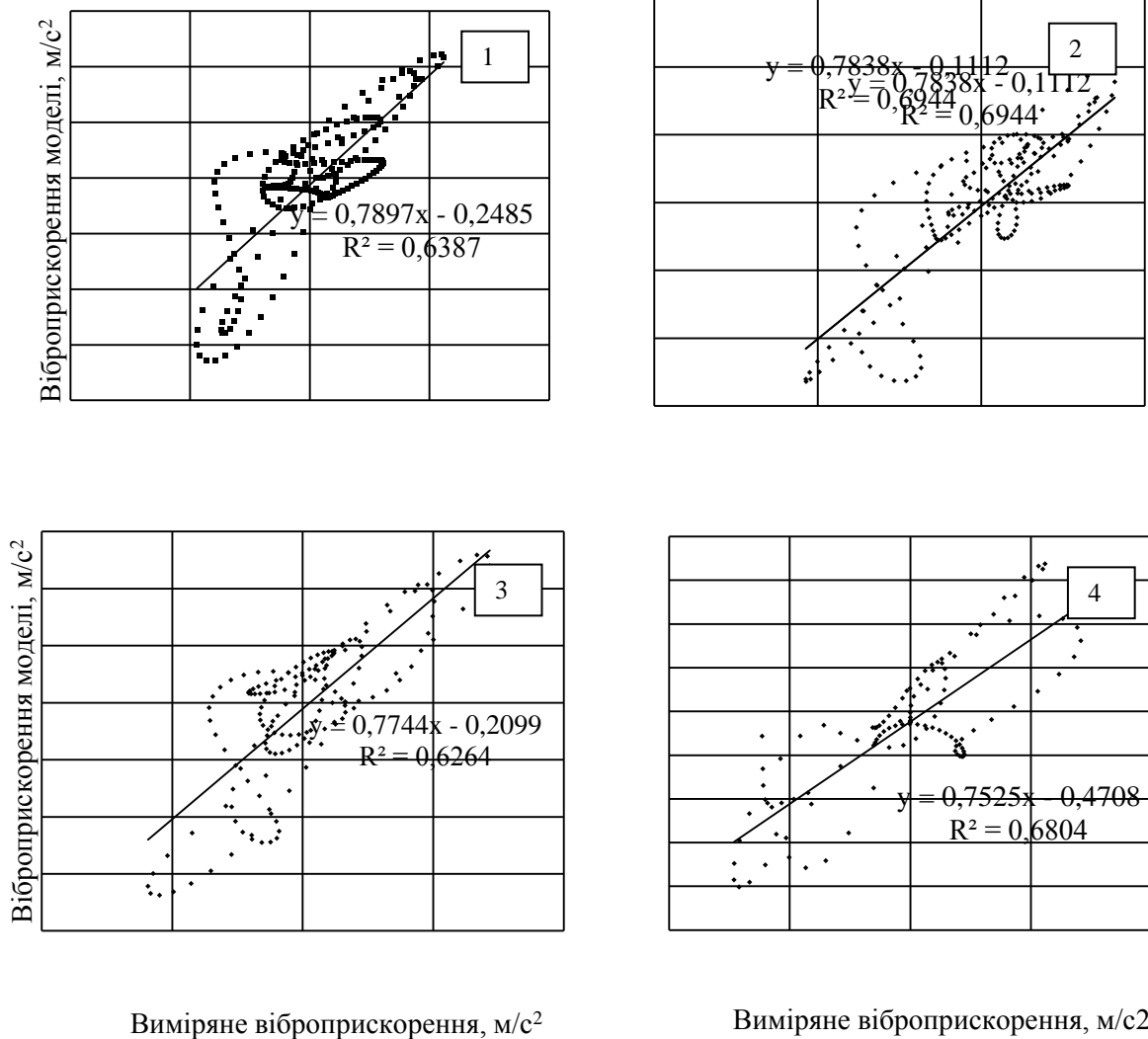
Відстань, м

--- виміряне    — модельоване

--- виміряне    — модельоване

**Рисунок 3** – Амплітудо - часові характеристики віброприскорень на місці сидіння водія виміряні та розраховані при швидкості руху: 1 – 20 км/год, 2 – 30 км/год, 3 – 40 км/год, 4 – 50 км/год

При співставленні амплітудо-часових характеристик віброприскорень (рис.3) отриманих за результатами експерименту і моделювання можна відмітити наявність зв'язку (рис.4) між експериментальними і теоретичними даними. Мінімальний коефіцієнт кореляції склав 0,626.



**Рисунок 4** – Залежність розрахованого віброприскорення моделі автомобіля на місці сидіння водія від виміряного експериментально при швидкості руху: 1 – 20 км/год, 2 – 30 км/год, 3 – 40 км/год, 4 – 50 км/год

## **II. Дослідження впливу випадкових мікропрофілів дорожніх покриттів на споживачів дорожніх послуг**

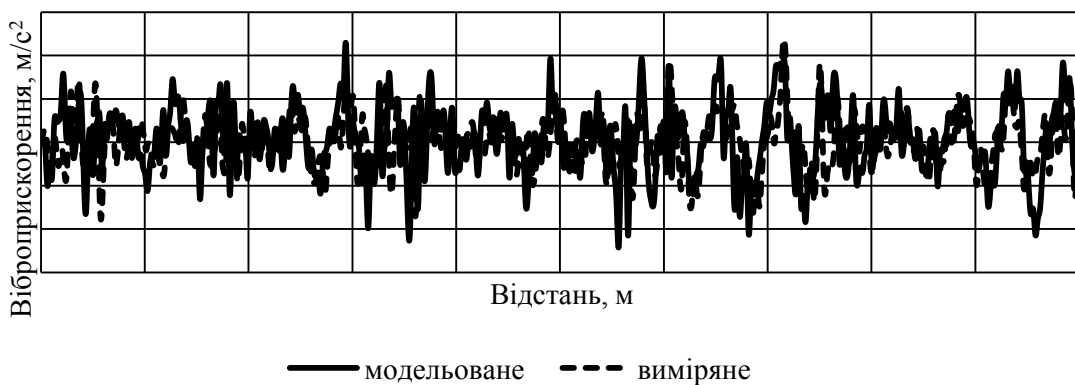
Для дослідження обрана ділянка міської транспортної мережі м. Харкова довжиною 200м на якій фіксовані дані за мікропрофілем (рис.5), були виміряні за допомогою тахеометра.



**Рисунок 5** – Мікропрофіль ділянки міської транспортної мережі м. Харкова, що досліджувалась

Для оцінки впливу швидкості руху автомобіля на рівень вібронавантаження діючого на місці сидіння водія і пасажирів, а також для порівняння результатів теоретичного розрахунку та натурального експерименту в широкій області зміни геометричних розмірів нерівностей визначено амплітудо – часові характеристики віброприскорень діючих на автомобіль – лабораторію ГАЗ 2705 на місці сидіння водія при проїзді по досліджуваній ділянці на різних швидкостях (40, 60, 75 км/год).

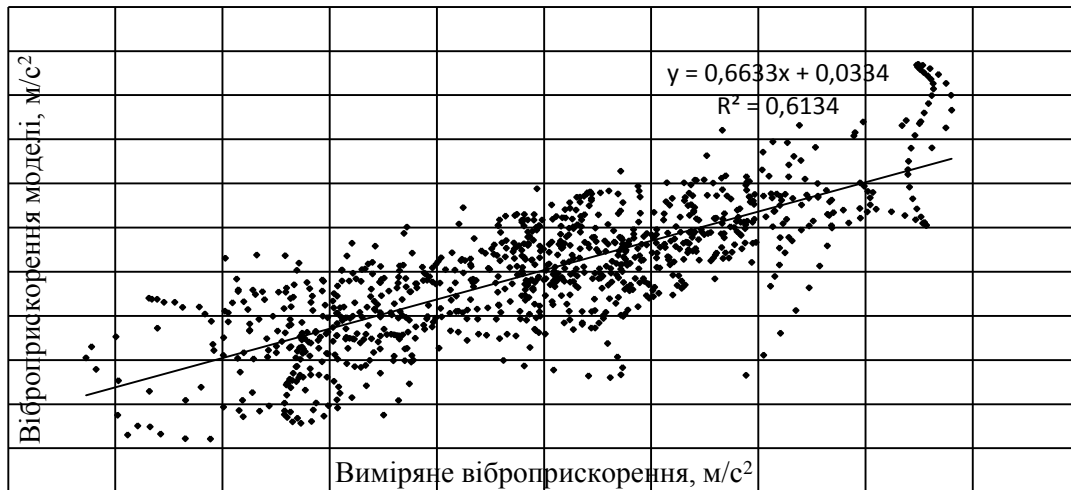
Використовуючи попередньо виміряний мікропрофіль ділянки дороги, що досліджувалась виконано моделювання повної моделі автомобіля з місцями сидінь водія та пасажирів. Результати моделювання та експерименту при швидкості руху автомобіля-лабораторії 60 км/год приведені в графічному вигляді на рис. 6.



**Рисунок 6** – Амплітудо - часові характеристики віброприскорення на місці водія виміряні та розраховані на досліджуваній ділянці дороги при швидкості 60км/год



При співставленні амплітудо-часових характеристик віброприскорень отриманих за результатами експерименту і моделювання спостерігається зв'язок між експериментальними і теоретичними даними (рис.7). При швидкості руху 60 км/год для досліджуваної ділянки коефіцієнт кореляції склав 0,613.



**Рисунок 7** – Залежність розрахованого віброприскорення моделі автомобіля на місці сидіння водія до виміряного експериментально при швидкості руху 60 км/год

Для подальшого моделювання випадкових мікропрофілів дорожніх покриттів використовуємо спектри ординат мікропрофілів доріг відповідно до міжнародної класифікації автомобільних доріг ISO 8608:1995 [10]. Відповідно за яким спектральна щільність дисперсії ординат мікропрофілю знаходиться за наступною формулою:

$$Sq(\theta_k) = D_0 \left( \frac{\theta_0}{\theta_k} \right)^W, \quad (2)$$

де  $D_0$  – коефіцієнт рівня спектральної щільності [10],  $m^2$  м/ц;

$W$  – коефіцієнт форми (2);

$\theta_0$  – базова частота (0,1), ц/м.

$k$  – індекс частоти (0,1,2, ..., N-1);

$N$  – кількість значень сигналу;

$\theta_k$  – дискретна шляхова частота дороги ( $\theta_k = 0, \frac{1}{N \cdot x_s}, \dots, \frac{1}{2x_s}$ ), ц/м;

$x_s$  – крок при моделюванні, м.

Щоб перейти від спектральної щільності до ординат мікропрофілю ділянки дороги застосовано взаємозв'язок між спектральною щільністю та дисперсією ординат мікропрофілю [11]:

$$Sq(\theta_k) = \frac{2}{Nx_s} |q(\theta_k)|^2, \quad (3)$$

Для переведення ординати мікропрофілю дороги із частотної області в просторову використано дискретне зворотне перетворення Фур'є.

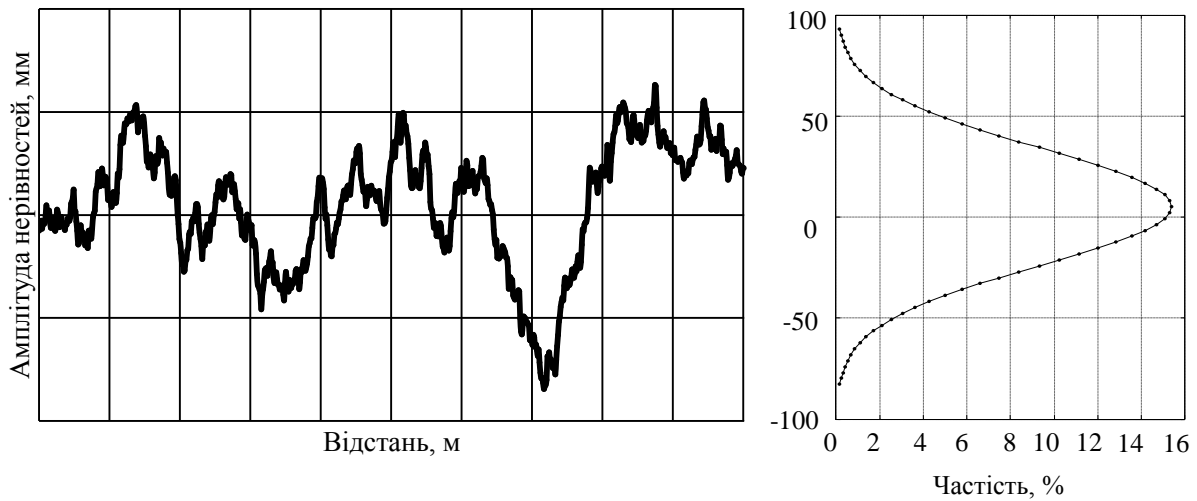
$$q(x_s) = \frac{1}{N \cdot x_s} \cdot \sum_{n=0}^{N-1} q(\theta_n) \cdot e^{i2\pi nk/N}, \quad (4)$$

де  $q(x_s)$  – ординати мікропрофілю ділянки дороги, м;  
 $i$  – уявна одиниця.

Враховуючи формулу (3), ордината мікропрофілю ділянки дороги розраховується використовуючи наступне рівняння:

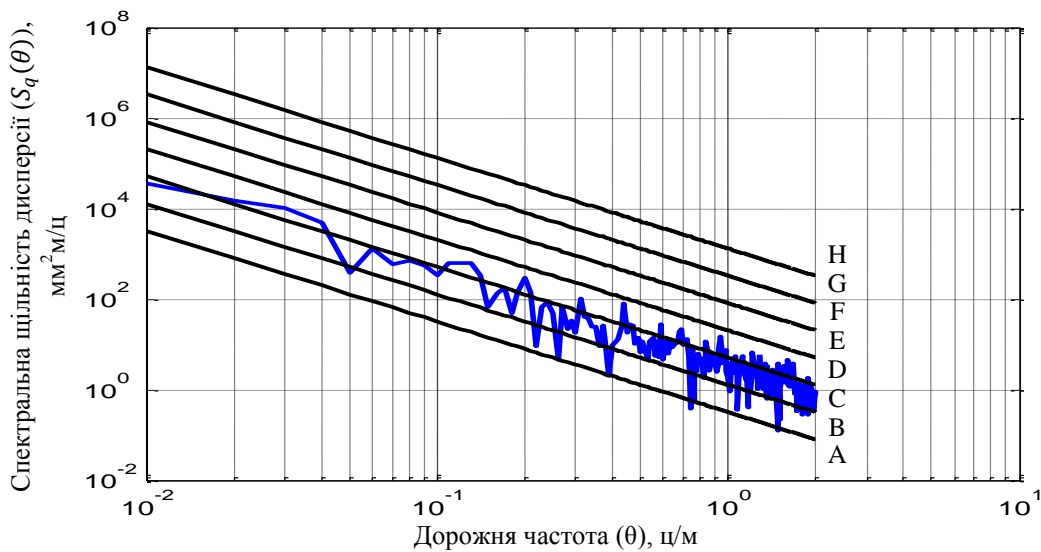
$$q(x_s) = \frac{1}{N \cdot x_s} \cdot \sum_{n=0}^{N-1} \sqrt{Sq(\theta_n) \cdot \frac{Nx_s}{2}} \cdot e^{i2\pi nk/N}, \quad (5)$$

Вибираючи різні значення коефіцієнта рівня спектральної щільності можна одержати різні автокореляційні функції дорожніх покриттів. Використовуючи вище наведені формули виконано моделювання мікропрофілів доріг різних категорій. На рис. 8 наведено випадковий мікропрофіль дороги довжиною 200м, отриманий шляхом моделювання.



**Рисунок 8** – Випадковий мікропрофіль автомобільної дороги

Спектральна щільність дисперсії представленого мікропрофілю наведена на рис. 9, на якому видно, що модель мікропрофілю відноситься за міжнародною класифікацією до автомобільної дороги класу С.



**Рисунок 9** – Спектральна щільність дисперсії випадкового мікропрофіля автомобільної дороги

### III. Аналіз результатів

Таким чином за аналізом отриманих графіків (рис. 3, 4, 6, 7) видно, що модель повного автомобіля веде себе адекватно. На коливання водія та пасажирів при наїзді на одиночну нерівність (рис. 3) впливають віброприскорення, які отримані при наїзді як передніми так і задніми колесами.

Однак незважаючи на повноту натурального експерименту, охопити всі можливі параметри і їхні сполучення не представляється можливим, оскільки частина параметрів залежить від зовнішніх умов (наприклад, тиск повітря в шинах і обумовлене їм значення жорсткості та ін.) та умов руху (стан автомобіля, стан дороги, зміна швидкості руху, інерційні впливи, аеродинамічні впливи). Проте згідно з отриманими даними можна зробити висновок, що імітаційне моделювання не суперечить реальному поведженню об'єкта, тому її можна використовувати для подальшого обґрунтування нормативних значень рівності дорожніх покриттів.

#### **IV. Обґрунтування показників поздовжньої рівності дорожніх покриттів**

Для обґрунтування нормативних значень рівності ділянок автомобільних доріг, які будуються або після капітального та поточного ремонтів моделювання виконується в залежності від розрахункової швидкості руху (табл. 2) [12].

Для ділянок, які перебувають в експлуатації моделювання проводимо за оптимальною швидкістю руху (табл. 2), оскільки при зазначеній швидкості забезпечуються найбільш ефективні умови роботи автомобільного транспорту та дороги, а також сприятливі умови для роботи водіїв [13]. Оптимальна швидкість розраховується за наступною формулою:

$$V_0 = 0.55 \cdot V_p, \quad (6)$$

де  $V_0$  – оптимальна швидкість табл., км/год;

$V_p$  – розрахункова швидкість руху (табл. 2) [12], км/год.

В якості основних показників оцінки рівності дорожніх покриттів приймаємо показник IRI, та спектральну щільність дисперсії. Рівність при моделюванні оцінюється саме за цими показниками, використовуючи програму RoadRuf, яку розроблену спеціалістами Інституту Транспортних Досліджень Мічиганського Університету (University Michigan Transportation Research Institute – UMTRI).

Згідно з попередніми дослідженнями приймаємо, що для обґрунтування базових показників рівності проїзної частини автомобільних доріг, ділянок довжиною 100 м, значення віброприскорення повинні відповідати нижній границі рівня вібронавантаження, яке діє на водія та пасажирів при тривалості впливу 8 годин, що дорівнює  $0,45 \text{ м/с}^2$  [9]. Для обґрунтування гранично допустимих показників рівності проїзної частини ділянок дороги довжиною 100 м, значення віброприскорення не повинні перевищувати верхню границю рівня вібронавантаження, яке діє на водія та пасажирів при тривалості впливу 8 годин, що дорівнює  $0,8 \text{ м/с}^2$  [9]. Для більш ефективного використання автомобільних доріг при обґрунтуванні гранично допустимих значень, границю (від  $0,45$  до  $0,8 \text{ м/с}^2$ ) рівня вібронавантаження, яке діє на водія та пасажирів при тривалості впливу 8 годин краще розбити порівну, так для дороги Іа категорії верхня границя дорівнюється  $0,45 \text{ м/с}^2$ , а для V категорії відповідно  $0,8 \text{ м/с}^2$ . Таким чином у табл.2 нижня границя гранично допустимих значень рівності призначена для більш ефективного використання автомобільних доріг, а верхня границя показує максимальний гранично допустимий рівень при перевищенні якого водії та пасажирів можуть отримати вібронавантаження, яке істотно вплине на їх здоров'я.

Базові та гранично допустимі показники рівності проїзної частини доріг для відрізків довжиною 100 м обґрунтовані за критерієм дотримання граничного рівня безпеки дорожнього руху та забезпечення комфорту руху для водія і пасажирів наведені у таблиці 2.

**Таблиця 2** – Базові та гранично допустимі показники рівності проїзної частини доріг для ділянок довжиною 100 м

Категорія дороги	Швидкість руху, км/год		Показники рівності проїзної частини за IRI, м/км		Коефіцієнт рівня спектральної щільності дисперсії мікропрофілю, $\text{мм}^2/\text{ц}$	
	розрахункова (основна)	оптимальна	базові	гран. доп.	базові	гран. доп.
Ia	150	90	1,6	2,3-4,2	9	20-65
Iб	140	80	1,7	2,7-4,8	10	30-85
II	120	70	1,9	4,3-5,1	13	70-95
III	100	60	2,1	4,7-5,3	16	80-105
IV	90	50	2,3	4,9-5,4	20	90-110
V	90	50		5,4		110

Для більш детальної оцінки рівності поверхні дорожніх покриттів пропонується також проводити оцінку рівності для відрізків довжиною 0,25 м ( $IRI_{0,25}$ ), що дозволить відокремити одиночні дорожні нерівності, які досить суттєво впливають на загальний показник рівності ( $IRI_{100}$ ).

Оскільки одиночні дорожні нерівності діють на протязі нетривалого часу однак можуть досить суттєво впливати на вібронавантаження, для обґрунтування базових та гранично допустимих значень необхідно використовувати інші границі рівня вібронавантаження, що діє на водія та пасажирів, при тривалості впливу не більше 10 хв. Так за дослідженнями проф. Р.В. Ротенберга [3] встановлено, що при вібраційному впливі рівному 3 – 5 м/с<sup>2</sup> коливання стають неприємними та с часом нестерпними, істотно впливають на функціональний стан водія, знижують його працездатність. Відповідно до стандарту [9] для вібрацій людського тіла на рівні сидіння з прискоренням 2.6 – 5 м/с<sup>2</sup>, допустима тривалість впливу становить не більше 10 хв.

Тому для обґрунтування базових показників рівності проїзної частини автомобільних доріг для відрізків довжиною 0,25 м значення віброприскорення не повинні перевищувати нижню границю рівня вібронавантаження (2,6 м/с<sup>2</sup>), що діє на здоров'я водія та пасажирів при тривалості впливу менше 10 хвилин. Для обґрунтування гранично допустимих показників рівності проїзної частини автомобільних доріг для відрізків довжиною 0,25 м значення віброприскорення не повинні перевищувати верхню границю рівня вібронавантаження (5 м/с<sup>2</sup>), що діє на здоров'я водія та пасажирів при тривалості впливу менше 10 хвилин. Для моделювання в якості мікропрофілю використовувалася фіксована одинична дорожня нерівність з різними геометричними розмірами та кроком 0,25 м.

Базові та гранично допустимі показники рівності проїзної частини доріг для відрізків довжиною 0,25 м обґрунтовані за критерієм забезпечення комфорту руху для водія і пасажирів, наведені у таблиці 3.

## Висновки

1. Включення до нормативних документів визначених значень базових та гранично допустимих показників рівності проїзної частини доріг за  $IRI$  та за спектральною щільністю дисперсії для ділянок довжиною 100 м ( $IRI_{100}$ ), дозволить об'єктивно обґрунтовувати види та обсяги робіт з ремонту

автомобільних доріг, що істотно вплине на підвищення безпеки і комфорту руху водія та пасажирів та позитивно відзначиться на управлінні станом покриттів всієї мережі автомобільних доріг.

2. Включення визначених значень базових та гранично допустимих показників рівності проїзної частини доріг за IRI для відрізків довжиною 0,25 м ( $IRI_{0,25}$ ) у практичне використання, дозволить більш детально оцінити рівність поверхні дорожніх покриттів, відокремити одиночні дорожні нерівності, які досить суттєво впливають на загальний показник рівності ( $IRI_{100}$ ), а також дозволить більш раціонально використовувати фінансові ресурси, які виділяються на ремонт і утримання автомобільних доріг, особливо в умовах дефіциту коштів.

**Таблиця 3** – Базові та гранично допустимі показники рівності проїзної частини доріг за IRI для відрізків довжиною 0,25 м

Категорія дороги	Швидкість руху, км/год	Показники рівності проїзної частини за IRI, м/км	
	розрахункова	базові	гранично допустимі
Ia	150	11	16
Iб	140	13	20
II	120	16	25
III	100	20	33
IV, V	90	28	40

### Література

1. Кияшко Д.И. Нормирование допустимых значений показателей продольной ровности дорожных покрытий / Д.И. Кияшко, В.Я. Савенко, В.В. Филиппов // Наукові нотатки. Міжвузівський збірник. – Луцьк: ЛНТУ, 2012. – № 36. – С.144–148.
2. Хачатуров А. А. Динамика системы дорога-шина-автомобиль-водитель [Текст] / А. А. Хачатуров, В. Л. Афанасьев, В. С. Васильев. – М.: Машиностроение, 1976. – 535 с.
3. Ротенберг Р. В. Подвеска автомобиля / Р. В. Ротенберг – [3-е изд.]. – М.: Машиностроение, 1972. – 392 с.

4. Karamihas S.M. Critical Profiler Accuracy Requirements [Final report] / S. M. Karamihas. – Michigan: The University of Michigan Transportation Research Institute, 2005. – 115 p.
5. A road profile based Truck Ride Index (TRI): AP-R177. – Sydney: AustRoads, 2000. – 47 p.
6. Boscaino G. Analysis of the effects of speed bumps on vehicle vertical path / G. Boscaino, G. Galuppo, C. Rinoldo // 4th international SIIV congress. – Palermo, 2007. [Електронний ресурс]: Режим доступа: [http://sed.siiv.it/documenti/63\\_2848\\_20080110111726.pdf](http://sed.siiv.it/documenti/63_2848_20080110111726.pdf) – Загол. с екрана.
7. Guo L.-X. Vehicle Vibration Analysis in Changeable Speeds Solved by Pseudoexcitation Method / L.-X. Guo, L.-P. Zhang // Hindawi Publishing Corporation Mathematical Problems in Engineering. – New York, 2010. [Електронний ресурс]: Режим доступа: <http://www.emis.de/journals/НОА/МРЕ/Volume2010/802720.pdf> – Загол. с екрана.
8. Безпека дорожнього руху. Пристрій примусового зниження швидкості дорожньо-транспортної техніки на вулицях і дорогах. Загальні технічні вимоги : ДСТУ 4123-2006. – [Чинний від 2006-07-01). – К. : Держспоживстандарт України, 2006. – 10 с. – (Національні стандарти України).
9. Вібрація та удар механічні. Оцінка впливу загальної вібрації на людину : ДСТУ ISO 2631-1:2004. – [Чинний від 2006-04-01). – К. : Держстандарт України, 2004. – 41 с.
10. Вібрация механическая. Профили дорожного покрытия. Представление результатов измерений: ISO 8608:1995. – 29 с.
11. Kailas V. Vehicle suspension optimization for stochastic inputs/ Vijay Inamdarthe Kailas – Arlington: University of Texas at Arlington, 2011 – 64 p.
12. Автомобільні дороги : ДБН В.2.3-4:2007. – [Чинний від 2008-03-01). – К.: Мінрегіонбуд України, 2007. – 91 с.
13. Савенко В. Я. Транспортно-експлуатаційні властивості автомобільних доріг: [навчальний посібник для вузів] / В. Я. Савенко, В. В. Губа. – Донецьк: ДВНЗ «ДонНТУ», 2011. – 229 с.