

ФОРМУВАННЯ БАЗИ МЕТАДАНИХ ГІС «АВТОМОБІЛЬНА ДОРОГА» ДЛЯ МОНІТОРИНГУ І КАДАСТРУ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ

Саркісян Г.С.¹, Ряпухін В.М.¹,

¹Харківський національний автомобільно-дорожній університет

***Анотація.** У даній статті розглядається підхід до формування бази даних ГІС «Автомобільна дорога» для моніторингу і кадастру автомобільних доріг. Розглядається схема взаємодії рухомого пневматичного колеса автомобіля і нерівності на покритті автомобільної дороги. Проведено аналіз існуючих нерівностей на покриттях експлуатованих дорожніх одягів та визначено типові форми нерівностей. Запропоновано підхід до визначення величини навантаження на дорожній одяг при подоланні нерівностей різної форми і підхід до формування бази даних ГІС «Автомобільна дорога».*

***Ключові слова:** метадані, геоінформаційна система, база даних, автомобільна дорога, рівність, надійність, вихідні дані, кадастр.*

Вступ

Автомобільна дорога як складна інженерна споруда, що безпосередньо пов'язана з певними земельними ділянками, до сьогодні викликає суперечливі питання стосовно майнової категорії (рухоме чи нерухоме майно) і власності. Ці питання не є академічними, а мають чітку практичну значущість. Від прийнятої майнової категорії відносно автомобільних доріг залежать ті чи інші форми власності доріг, наглядові й контрольні заходи, в тому числі обов'язковість моніторингу та кадастру автомобільних і міських доріг.

Автомобільна дорога створюється з дотриманням порядку, встановленого для створення об'єктів нерухомості (відведення земельної ділянки, здобуття дозволу на будівництво, дотримання будівельних норм і правил, здача в експлуатацію). Автомобільна дорога включає земельні ділянки у межах смуги відведення і розташовані на них або під ними конструктивні елементи (дорожнє полотно, дорожнє покриття і подібні елементи) і дорожні споруди, що є її технологічною частиною, – захисні дорожні споруди, штучні дорожні споруди, виробничі об'єкти, елементи облаштування автомобільних доріг.

Дані елементи і порядок їх створення дозволяють зробити висновок, що автодорога є комплексною спорудою, безпосередньо пов'язаною із землею; при цьому порушення цього зв'язку призведе до знищення об'єкта як дороги, що дозволяє характеризувати її як об'єкт нерухомості.

Створенням кадастру автомобільних доріг вирішуються такі основні завдання:

– реєстрація прав на нерухоме майно;

– фіксація кордонів дії прав власників автомобільних доріг і, у разі потреби, їх відновлення;

– визначення правового режиму земель, виходячи із суспільних обмежень;

– забезпечення унікальної ідентифікації автомобільних доріг для зв'язку з реєстром прав на нерухоме майно;

– здійснення моніторингу зміни якісних і кількісних характеристик автомобільних доріг.

Ядром кожної інформаційної системи (і ГІС у тому числі) є база даних, під якою розуміють поєднану сукупність даних, що відображає стан об'єкта, його властивості та взаємини з іншими об'єктами, а також комплекс технічних і програмних засобів для ведення цих баз даних.

У базі даних всі таблиці можна розділити на чотири групи: елементи автомобільної дороги, характеристики, обстановка і штучні споруди.

До характеристик автомобільної дороги відносяться розміри смуги відведення, дефекти покриття, основні відстані, статистика ДТП, інтенсивність руху, рівність покриття, типи поперечних профілів, протяжність покриттів, технічні категорії, проблемні ділянки (затоплювані, вічномерзлі, пучинисті та ін.), стан покриття та ін.

Аналіз публікацій

Аналіз робіт В.К. Алестіна, А.К. Бируля, В.Ф. Бабкова, А.Н. Васильєва, Н.Я. Говорущенко, Н.Н. Іванова, М.Б. Корсунського, В.І. Кононова, В.К. Некрасова, В.А. Семенова, В.М. Сиденко, Ю.М. Яковлева та ін. показав, що у процесі експлуатації дорожнього

одягу під впливом транспортних навантажень і кліматичних чинників відбувається зниження її міцності, що супроводжується накопиченням залишкових деформацій та погіршенням рівності покриття. Зроблений висновок, що між міцністю і рівністю існує тісний зв'язок.

Прогнозування зміни транспортно-експлуатаційного стану одягу має велике значення для раціонального планування ремонтних робіт і забезпечення їх ефективності. Як показали практика і результати численних досліджень, залежності, що описують зміну модуля пружності дорожнього одягу, запропоновані А.С. Александровим, В.К. Алестіним, Д.С. Беляєвим, Ю.В. Буртилем, М.Г. Горячевим, І.А. Золотарем, С.К. Іліополовим, В.Д. Казарновським, М.С. Коганзоном, А.В. Кочетковим, І.І. Леоновичем, В.П. Матуа, І.В. Нестеровичем, А.В. Смірновим, Є.В. Угловою, В.Б. Фадєєвим, Ю.М. Яковлевим та ін., досить добре відповідають фактичному процесу зниження міцності в період експлуатації [1–9].

Пряме визначення нерівностей на автомобільній дорозі виконується за допомогою вимірювальних рейок, нівелірів і профілографів різних конструкцій [10, 11]. Непряме визначення ґрунтується на записі відносних коливань безпружинних і підресорених мас транспортних машин або спеціальних випробувальних причепів (установок). Критерієм рівності в цьому випадку є сума амплітуд коливань, віднесена до одиниці довжини. Найчастіше розмірність цього критерію виражається в м/км.

Більшість нерівностей носять випадковий характер, і тому їх описують гармонійними функціями та оцінюють методами математичної статистики, теорією імовірності випадкових процесів. Визначаємо амплітуду і частоту коливання, дисперсію, спектральну щільність розподілу дисперсії, амплітуд і ухилів подовжнього профілю, обчислюючи при цьому амплітуди і частоти коливань, середньоквадратичні величини вертикальних прискорень, закони розподілу і тому подібне.

У світовій практиці стандартним критерієм прийнято вважати міжнародний індекс рівності (International Roughness Index – IRI) [12]. Він має аналогічний фізичний сенс і розмірність, тобто м/км. Для визначення IRI на практиці використовуються вимірювальні прилади, адаптовані для отримання інформації за міжнародним індексом рівності.

Проблема полягає в узгодженні IRI і кількості, розміру і характеру нерівностей за взаємодією з колесом автомобіля за коефіцієнтом динамічності. Треба шукати загальні закономірності.

Підхід до визначення додаткового навантаження на дорожній одяг з урахуванням форми нерівності

Зйомка мікропрофілю виконувалася за межами міста Харків на автомобільній дорозі Т-21-04 та автомобільній дорозі М-03 Київ–Харків–Довжанський. Перед тим, як розпочати зйомку, нами було обрано три ділянки довжиною двісті метрів, а саме вісімнадцятий, двадцять перший та двадцять дев'ятий кілометри на автомобільній дорозі Т-21-04 та ділянку 465+000 км – 465+200 км на автомобільній дорозі М-03 Київ–Харків–Довжанський. Ділянки були обрані за такими показниками: пряма ділянка, мінімальний ухил, стан покриття (добрий, середній, поганий), з доброю видимістю по обидві сторони.

Ділянка №1 має поганий стан покриття, ділянка №2 відповідає середньому стану покриття, а ділянка №3 – додрому.

Отримані дані нівелювання за кожною ділянкою заносили до таблиці та обчислювали відносні позначки H точок поверхні покриття дороги за допомогою програмного забезпечення Microsoft Excel і оформляли у вигляді текстового файлу згідно [13] для кожної ділянки. Отримані файли є вихідними даними для розрахунку IRI і побудови мікропрофілю за допомогою програмного забезпечення ProVAL [14].

Загальний IRI по ділянках №1, №2 та №3 відповідно має такі дані: 7,508 м/км, 4,007 м/км та 2,728 м/км.

Необхідно було виконати такі завдання: виявити типи і види нерівностей за мікропрофілями, визначити вплив нерівності на рух автомобільного транспорту та виконати розрахунок напружено-деформованого стану дорожнього одягу за динамічних навантажень.

За допомогою програмного забезпечення ProVAL виконано детальний аналіз мікропрофілю. Детальний аналіз передбачає збільшення масштабу окремих ділянок і виявлення нерівностей. Виявлення нерівностей на першому етапі виконується за допомогою зорової оцінки, використовуючи вісь абсцис (пикетне положення) і ординат (відносні відмітки). На рис. 1 представлено нерівність у вигляді напівхвилі.

Другий етап передбачає визначення параметрів нерівності, таких як висота і довжина, а також визначаємо пікетне положення нерівності. Визначивши пікетне положення початку і кінця нерівності, використовуючи дані нівелювання, визначаємо довжину і висоту нерівності за формулами (1) і (2)

$$h = H_k - H_n, \quad (1)$$

де h – висота нерівності, м; H_n – позначка початку нерівності, м; H_k – позначка кінця нерівності, м.

$$l = PK_k - PK_n, \quad (2)$$

де l – довжина нерівності, м; PK_n – пікетне положення початку нерівності, м; PK_k – пікетне положення кінця нерівності, м.

Після того, як отримали дані щодо висоти і довжини нерівності, визначаємо її ухил за формулою

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{h}{l}, \quad (3)$$

де α – ухил нерівності, рад; h – висота нерівності, м; l – довжина нерівності, м.

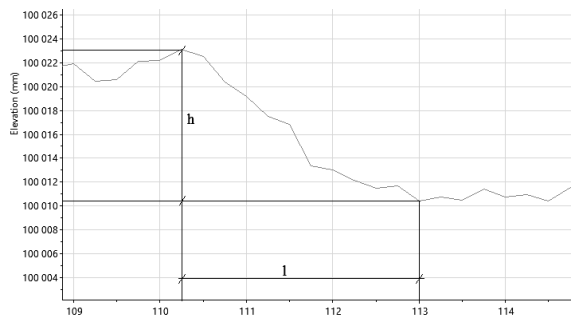


Рис. 1. Приклад виявлення нерівності

Усі розрахунки виконувалися за допомогою програмного забезпечення Microsoft Excel. Результати розрахунків зведено до таблиць.

Для бачення загальної картини необхідно встановити кількість тих чи інших нерівностей. Нерівності розподілили на групи за висотою і були вставлені такі діапазони висот: від 5 до 10 мм, від 10 до 15 мм, від 15 до 20 мм, від 20 до 30 мм, і більше 30 мм.

У результаті отримали дані, подані в табл. 1.

Третій етап передбачає розгляд руху колеса через нерівність. Розглянемо рух колеса через западину, поздовжній профіль якої

приймаємо параболічної форми. Колесо падає на дно западини на деякій відстані від середини западини. Оскільки швидкість руху для розрахунку взято постійною, на силу удару впливає висота падіння. Удар колеса об дно тим сильніший, чим більша висота падіння. Швидкість становить 25 м/с, що відповідає швидкості 90 км/год.

Таблиця 1 – Кількість нерівностей на ділянках

Діапазон, мм	Ділянка №1		Ділянка №2		Ділянка №3	
	Кількість, шт	Відсоток від загальної кількості, %	Кількість, шт	Відсоток від загальної кількості, %	Кількість, шт	Відсоток від загальної кількості, %
5–10	20	31	21	57	6	26
10–15	18	28	4	11	8	35
15–20	7	11	4	11	3	13
20–30	8	13	5	14	4	17
>30	11	17	3	8	2	9
Всього	64	100	37	100	23	100

Безпосереднього відриву колеса не відбувається, оскільки ходова частина моментально притискає колесо до поверхні покриття. Удар відбувається за рахунок розвантаження в момент, коли колесо попадає в нерівність, а кузов продовжує рух по параболічній кривій, тим самим зменшуючи навантаження на колесо і навантаження, коли вага кузова знову переноситься на колесо, падаючи з певної висоти, і тим самим утворюючи динамічні навантаження.

На даному етапі було поставлено завдання визначити місце виникнення динамічних навантажень, а також висоти падіння кузова автомобіля. Найбільша висота падіння відповідає середині западини. У процесі аналізу було виявлено, що місце виникнення динамічних навантажень може бути розташоване до середини западини або після.

Був розглянутий варіант, коли динамічні навантаження, які виникають, розташовані до середини западини. За допомогою програмного забезпечення Microsoft Excel було побудовано графіки траєкторії руху кузова в западину та графіки западин у вигляді параболічної кривої.

Момент підйому пропонується розглядати як рух по кривій певного радіуса. Для цього необхідно описати профіль покриття за допомогою кривої, для якої необхідно знайти рівняння кривої. При цьому нехтують нерівностями висотою до 5 мм, оскільки нерівнос-

ті до 5 мм вважаються шорсткістю. Такі нерівності повністю поглинаються демпфуючою здатністю шини, й істотного впливу на коливання автомобіля не викликають. Знаючи рівняння кривої, яка описує профіль покриття, можна визначити радіус її кривизни в будь-якій її точці. Радіус кривизни профілю покриття знаходимо за формулою [15]

$$R = \frac{1}{k(x_0)}, \quad (4)$$

де R – радіус кривизни профілю покриття, м; $k(x_0)$ – кривизна кривої профілю, м^{-1} .

Кривизна кривої профілю при цьому знаходиться з виразу [15]

$$k(x_0) = -\frac{y''(x_0)}{\left(1 + (y'(x_0))^2\right)^{3/2}}, \quad (5)$$

де $y''(x_0)$ – друга похідна рівняння кривої, м^{-1} ; $y'(x_0)$ – перша похідна рівняння кривої.

Додаткове навантаження на дорожній одяг дорівнює відцентровій силі, яка з'являється внаслідок руху по кривій траєкторії. Відцентрова сила у цьому разі буде дорівнювати

$$F_{\text{ц}} = \frac{m \cdot V^2}{1000 \cdot R}, \quad (6)$$

де $F_{\text{ц}}$ – відцентрова сила, що діє на покриття, під час руху по кривій, кН; m – маса транспортного засобу, що припадає на колесо, кг; V – швидкість руху транспортного засобу, м/с.

На другій ділянці подолання нерівності (ділянка «падіння») пропонується розраховувати точку «падіння» в залежності від швидкості транспортного засобу і ухилу поверхні, на яку автомобіль приземляється (рис. 2).

Рівняння траєкторії, по якій буде рухатися колесо, уявімо як траєкторію тіла, кинутого горизонтально з певною швидкістю [16]

$$y(x) = -\frac{g \cdot x^2}{2 \cdot V^2}, \quad (7)$$

де x – горизонтальна координата, м; g – прискорення вільного падіння, $\text{м}/\text{с}^2$.

Знаючи рівняння кривої профілю, можемо розв'язати систему рівнянь спільно з рівнянням траєкторії руху колеса (7). Розв'язком

системи рівнянь буде горизонтальна координата точки приземлення колеса, де і буде найбільший динамічний удар. Маючи горизонтальну координату, підставимо її в будь-яке з рівнянь і знайдемо величину y , яка відповідає висоті «падіння». Ця висота «падіння» і буде визначальним параметром при розрахунку коефіцієнта динамічності.

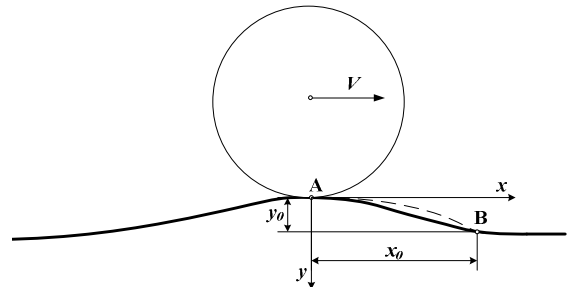


Рис. 2. Схема «падіння» колеса після подолання нерівності: - - - - траєкторія «падіння» колеса; A – вершина нерівності; B – точка «падіння»; V – швидкість руху колеса; y_0 – висота «падіння»; x_0 – дальність «падіння»

Коефіцієнт динамічності можна визначити за формулою С.В. Смірнова [4]

$$K_{\text{д}} = 1 + \sqrt{\frac{1}{g \cdot U} \left(\frac{2 \cdot h \cdot V}{S} \right)^2}, \quad (8)$$

де $K_{\text{д}}$ – коефіцієнт динамічності; U – прогин шини, м; h – висота «падіння», м; S – шаг нерівностей, м.

Щоб визначити місце виникнення динамічних навантажень, необхідно розв'язати систему рівнянь траєкторії руху кузова і нерівності, точка перетину буде місцем виникнення динамічних навантажень (рис. 3).

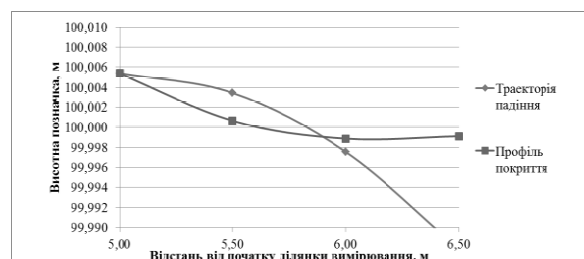


Рис. 3. Схема падіння колеса на нерівності

За допомогою програмного забезпечення Microsoft Excel було виконано зазначений розрахунок і отримано точки перетину для нерівностей. Дані було зведено до таблиць.

Таблиця містить ранжовану інформацію за величиною коефіцієнта динамічності, а також координати місця виникнення динамічних навантажень.

Саме ця інформація є основою формування бази даних про напружено-деформований стан дорожнього одягу в частині визначення місць концентрації деградації покриття.

Таблиця 2 – Коефіцієнти динамічності на ділянках

ПК кінця нерівності, м	Перевипення h , мм	Довжина l , м	Ухил $\text{tg } \alpha$	Довжина x , м	Висота y , м	Кд
Ділянка №1						
59,50	34,24	2,00	0,0171	2,06	-0,033	2,70
45,25	32,58	1,50	0,0217	1,81	-0,026	2,44
46,50	41,95	1,25	0,0336	1,77	-0,024	2,39
22,25	36,15	1,25	0,0289	1,70	-0,022	2,31
50,75	26,31	2,00	0,0132	1,68	-0,022	2,29
26,50	24,32	1,50	0,0162	1,66	-0,022	2,28
52,00	26,85	1,25	0,0215	1,58	-0,020	2,19
21,00	39,73	1,00	0,0397	1,53	-0,019	2,14
62,25	21,82	1,25	0,0175	1,50	-0,017	2,07
30,75	17,45	1,25	0,0140	1,15	-0,016	2,00
32,75	19,19	1,75	0,0110	1,40	-0,015	1,96
72,25	14,90	1,25	0,0119	1,08	-0,013	1,81
41,25	13,85	1,25	0,0111	1,06	-0,012	1,72
94,75	25,91	0,75	0,0345	1,18	-0,011	1,67
27,25	19,74	0,75	0,0263	1,12	-0,010	1,58
70,75	18,11	0,75	0,0241	1,10	-0,010	1,54
56,25	10,37	1,00	0,0104	1,09	-0,009	1,52
29,50	9,27	1,00	0,0093	1,05	-0,009	1,44
57,25	9,78	1,00	0,0098	1,06	-0,009	1,44
97,00	10,06	1,00	0,0101	1,08	-0,009	1,44
33,50	14,49	0,75	0,0193	1,05	-0,009	1,43
83,75	13,51	0,75	0,0180	1,03	-0,008	1,40
19,25	50,54	6,25	0,0081	1,03	-0,008	1,38
Ділянка №2						
113,00	27,90	2,75	0,0101	1,29	-0,013	1,82
62,50	27,90	2,75	0,0101	1,29	-0,013	1,82
173,25	14,95	1,75	0,0085	1,09	-0,009	1,50
44,00	9,75	1,00	0,0098	1,08	-0,009	1,47
2,50	8,93	1,00	0,0089	1,04	-0,009	1,42
79,75	47,24	6,00	0,0079	1,00	-0,008	1,32
Ділянка №3						
102,25	11,19	1,00	0,0112	1,12	-0,010	1,56
71,50	9,70	1,00	0,0097	1,05	-0,009	1,41

Висновки

У результаті проведеного дослідження було виявлено недоліки існуючих теорій взаємодії колеса з покриттям при подоланні нерівностей. Запропоновано інший підхід до визначення додаткового навантаження на

дорожній одяг з урахуванням форми нерівності. Запропонований підхід дозволяє більш повно охарактеризувати взаємодію колеса та покриття і сформувати більш повну базу даних ГІС «Автомобільна дорога» для моніторингу і кадастру автомобільних доріг.

Література

1. Буртыль Ю.В., Леонович И.И. Взаимозависимости ровности покрытия и прочности дорожной одежды [Электронный ресурс]. – 2012. – Режим доступу: <http://bsc.by/story/vzaimozavisimosti-rovnosti-pokrytiya-i-prochnostidorozhnoy-odezhdy>.
2. Горячев М.Г. Обоснование суммарного размера движения для расчета нежестких дорожных одежд с учетом процесса накопления остаточных деформаций: автореф. дисс....канд. техн. наук. Москва: МАДИ (ТУ), 1999. 17 с.
3. Золотарь И.А. К определению остаточных деформаций в дорожных конструкциях при многократных динамических воздействиях на них подвижных транспортных средств. СПб.: Изд-во ВАТТ, 1999. 31 с.
4. Смирнов А.В. Александров А.С. Механика дорожных конструкций: учебное пособие. Омск: СибАДИ, 2009. 212 с.
5. Углова Е.В. Теоретические и методологические основы оценки остаточного усталостного ресурса асфальтобетонных покрытий автомобильных дорог: автореф. дисс. на соискание ученой степени д-ра техн. наук. Волгоград, 2009. 38 с.
6. Кочетков А.В., Беляев Д.С., Шашков И.Г. Прямой метод оценки взаимодействия колеса транспортного средства и неровностей дорожного покрытия. Интернет-журнал «Науковедение». 2013. № 4 (17). С. 38–55.
7. Su K., Sun L.J., Hachiya Y. Rut Prediction for Semi-rigid Asphalt Pavements // First International Symposium on Transportation and Development Innovative Best Practices. 2008. Beijing. P. 486–491.
8. Sun L.J., Bi Y. Top-down cracking analysis and control for asphalt pavements // Proceedings of the tenth international conference on the structural design of asphalt pavements, Quebec, Canada. 2006. P. 110–116.
9. Balay J.M., Kerzreho J.P. Assessment of French design method for flexible pavement by mean of the LCPC's ALT facility // 3rd International Conference APT'08. Madrid, Spain, 1-3 Octobre. 2008. P. 1–12.
10. The International Road Roughness Experiment. Establishing Correlation and a Calibration Standard for Measurements: World Bank Technical Paper Number 45. WTP-45/ Sayers M.W., Gillespie T.D., Queiroz C.A.V./THE WORLD BANK. Manufactured in the United States of America. 1986. 453 p.