

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ДІАГНОСТУВАННЯ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ
ANALYSIS OF QUALITY INDICATOR DIAGNOSTIC METHODS OF ROADS



Мороз Тарас Михайлович, аспірант, Національний транспортний університет, e-mail: carmen_17@ukr.net, тел. +380442807909, Україна, 01010, м. Київ, вул. Омеляновича-Павленка, 1, к. 206,

<https://orcid.org/0000-0001-6730-3004>

Анотація. Мета наукової роботи – дослідження різних методів діагностування доріг для визначення їх експлуатаційного стану. В Україні існують концепції впровадження систем управління станом покриття, що базуються на визначених транспортно-експлуатаційних параметрах автомобільної дороги, проте, з різних причин вони не знаходять широкого практичного застосування, а процедури збирання, накопичення даних та аналізування отриманих результатів не мають системного підходу.

Наукова новизна та практична значущість. В дослідженні здійснений огляд основних методів та обладнання, що застосовуються для визначення транспортно-експлуатаційних показників автомобільних доріг. Визначені найбільш ефективні та продуктивні методи та механізми їх застосування, а також наведені переваги та недоліки.

Ключові слова: транспортно-експлуатаційні показники; експлуатаційне утримання; рівність; міцність; дефектність, шорсткість, коефіцієнт зчеплення

Вступ

Визначення показників якості автомобільних доріг лежить в основі системи методології управління програмам їх експлуатаційного утримання.

В результаті діагностики автомобільної дороги виявляються ознаки, що характеризують її стан, визначаються можливі відхилення, що дозволяє запобігти порушенням нормального режиму її експлуатації.

Згідно з [15] діагностика дороги – система заходів щодо оцінювання транспортно-експлуатаційного стану автомобільної дороги шляхом проведення спеціальних обстежень та випробувань. Її мета полягає в отриманні повної, об'єктивної інформації про транспортно-експлуатаційний стан дороги, умови її роботи, а також рівень відповідності фактичних споживчих властивостей дороги, її характеристик та параметрів вимогам безпеки руху. Це дозволяє спрогнозувати зміну стану автомобільної дороги і розробити рекомендації з покращення її транспортно-експлуатаційного стану з визначенням видів та обсягів робіт, а також сформувати автоматизований базу даних, що містить обробку, зберігання і видачу інформації про транспортно-експлуатаційний стан мережі автомобільних доріг.

Мета

Мета цієї наукової праці полягає у виборі оптимальних методів та обладнання для діагностування автомобільних доріг, що дозволяють найбільш оперативно здійснити збір даних, а також швидко проаналізувати результати вимірювань для отримання комплексної оцінки стану дорожнього покриття та обрання в подальшому стратегії ви

Основна частина

Діагностика якісних показників дозволяє спрогнозувати тенденцію деградації дорожніх активів з часом в процесі експлуатації автомобільної дороги, визначити характер руйнувань, пошкоджень чи погіршення стану окремих її конструктивних елементів, а також з'ясувати причини їх виникнення.

Вони повинні слугувати надійною інформаційною базою для вирішення управлінських завдань двох рівнів:

- визначення та оцінювання технічного рівня, транспортно-експлуатаційного стану, споживчих властивостей дороги;
- управління станом дорожньої мережі на основі раціонального використання фінансових коштів та матеріально-технічних ресурсів.

Значення, отримані в результаті визначення транспортно-експлуатаційних показників, слугують вихідними даними для техніко-економічного обґрунтування проєктів експлуатаційного утримання автомобільних доріг, на основі яких в подальшому визначається певний перелік необхідних робіт та заходів. Правильний вибір та пріоритезація цих робіт дозволяє побудувати оптимальну стратегію експлуатації конкретної автомобільної дороги або їхньої мережі (рис. 1).

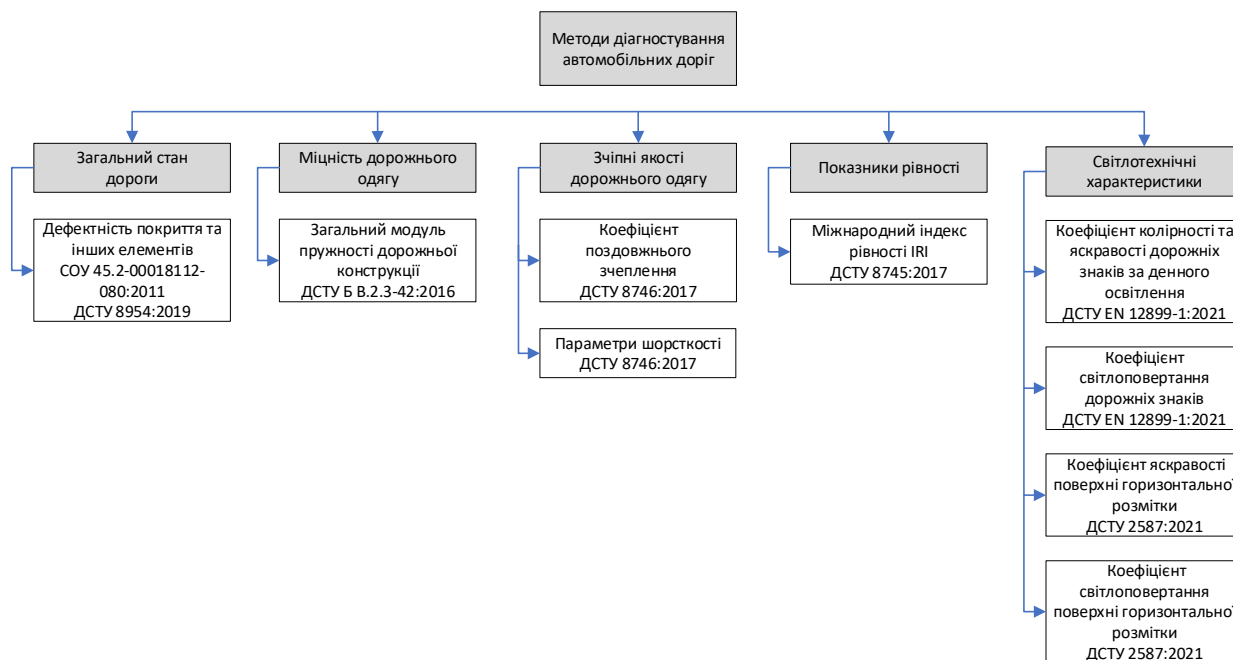


Рисунок 1 – Методи діагностування показників якості автомобільних доріг
Figure 1 – Methods of diagnosing quality indicators of highways

Згідно з [8] основними характеристиками, що визначаються в ході проведення діагностики є: міцність дорожнього одягу; індекс нерівності покриття; шорсткість поверхні покриття; зчіпні якості покриття; рівень інженерного облаштування; рівень захисту від снігу; дефектність покриття.

Способи визначення якісних показників включають: візуальний огляд, вимірювання лінійних величин, неруйнівний контроль якості, контроль якості за кернами та зразками, опосередковані методи контролю.

Діагностика автомобільних доріг виконується із застосуванням пересувних лабораторій, які визначають: рівність дорожнього покриття, міцність нежорстких дорожніх одягів, коефіцієнта зчеплення, геометричних параметрів, міцності дорожнього одягу шляхом статичного та динамічного навантаження, візуального обстеження автомобільних доріг та обрахунку інтенсивності руху.

Дефектність покриття

Візуальне обстеження. В процесі проведення даного типу діагностики здійснюється збір детальний огляд покриття, оцінювання та визначенням обсягів виявлених дефектів та їхньою кілометровою прив'язкою, зазначенням геометричних та технологічних особливостей досліджуваної ділянки, попередній огляд інженерних споруд (мости, труби, шляхопроводи тощо) і складання звітної документації у відповідності до діючих нормативних документів. Окрім цього під час візуального огляду окрім стану покриття оцінюється стан інших елементів дороги: земляного полотна, смуги відведення тощо. Цей метод не вимагає складного обладнання та тривалої підготовки оператора, тому

повний процес діагностики. Система дозволяє автоматично виявляти на покритті тріщини завтовшки до 1мм, визначити типи дефектів на покритті, а також побудувати їх 3-вимірну модель (рис. 3-4).

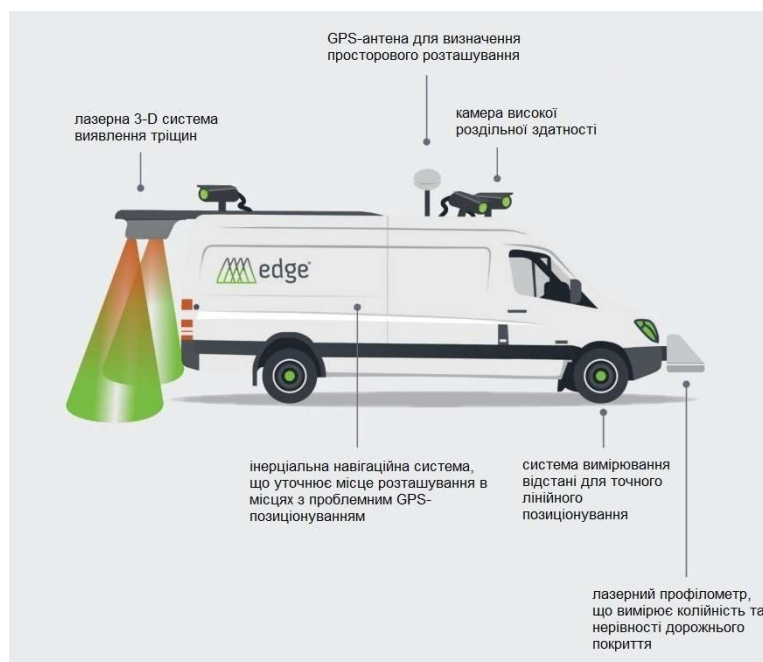


Рисунок 3 – Удосконалене обладнання для збирання даних (EDGE)

Figure 3 – Enhanced Data Gathering Equipment (EDGE)

(https://www.concreteconstruction.net/products/enhanced-data-gathering-equipment-edge_o)

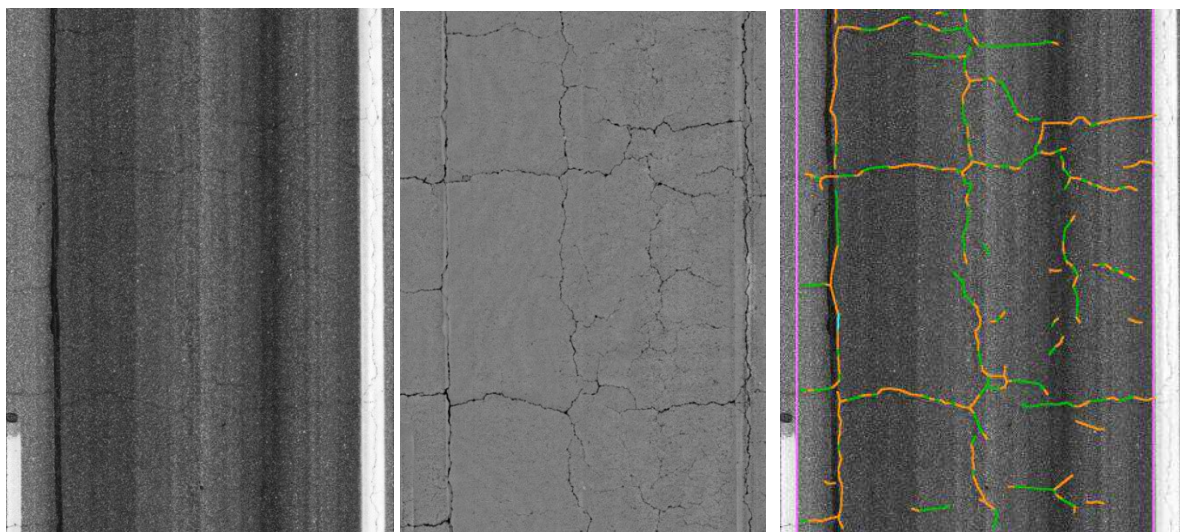


Рисунок 4 – Зображення поверхні дорожнього покриття: а) 2-вимірне; б) 3-вимірне; в) оброблене системою автоматизованою системою виявлення тріщин

Figure 4 – Image of the road surface: a) 2-d; b) 3-d; c) Automated Crack Detection ([7])

Багатофункціональні та високопродуктивні системи водночас визначають рівність за показником IRI, вимірюють радіус кривизни, колійність, поздовжній і поперечний похили, а зібрані дані дозволяють проаналізувати макротекстуру всієї відзнятої поверхні покриття і побудувати її профіль. Вмонтований модуль GPS-позиціонування забезпечує накладання зібраних даних на карту Google Earth (рис. 5).

Недоліком даних комплексів є висока вартість та тривалий термін окупності.

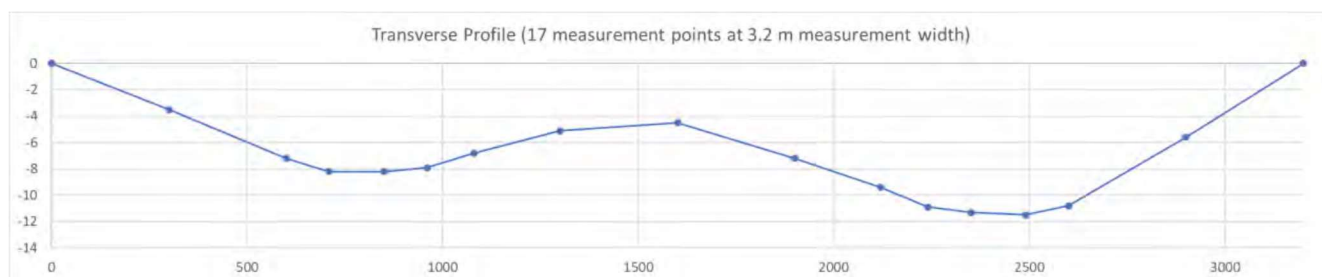


Рисунок 5 – Середній поперечний профіль, побудований за 17 вимірними точками системою автоматизованого діагностування на ширині 3,2 м

Figure 5 – Mean transverse profile described by 17 measurement points on the measured width of 3.2 m ([6])

Міцність дорожнього одягу

Загальний модуль пружності дорожнього одягу визначають методами статичного та динамічного навантаження відповідно до [16].

Метод статичних навантажень за допомогою жорсткого штамп.

При використанні даного методу загальний модуль пружності визначається за допомогою прогиноміра (балка Бенкельмана) та жорсткого штамп, який привантажується згори вантажним автомобілем. Метод не потребує складного обладнання, проте вимагає присутності важкого автомобіля або дорожньо-будівельної техніки для прикладання розрахункового навантаження на штамп (рис. 6).



Рисунок 6 – Обладнання для визначення статичного модуля пружності

Figure 6 – The static plate load tester ([5])

Метод динамічного навантаження

Даний метод полягає у вимірюванні кількості енергії при передачі через штамп ділянці дороги, створеної падінням вантажу змінної маси з перемінної висоти, реєстрації прогину з послідовним розрахунком динамічного модуля пружності дорожнього покриття. Кількість енергії визначається як величина потенційної енергії вантажу, піднятого на певну висоту. Прогин дорожнього покриття під штампом реєструють сенсори динамічного прогину.

Установка для вимірювання конструктивно являє собою автомобільний причеп, оснащений механізмом навантаження, що піднімає і скидає вантаж, сенсорів динамічного прогину, датчиків температури, систему управління та реєстрації. При падінні вантажу сигнал від сенсорів надходить в систему управління та реєстрації і обробки. Водночас здійснюється вимірювання температури повітря та дорожнього покриття (рис. 7-8).

В результаті обстеження здійснюється: прогнозування стану структури існуючого дорожнього одягу під впливом визначеного транспортного навантаження; визначення місць, що вимагають підсилення конструкції; визначення термінів необхідних ремонтних робіт; визначення проблемних конструктивних шарів; прив'язка ділянки дороги до географічних координат; прогноз довговічності

дорожнього одягу при заданій інтенсивності руху; визначення пошарових динамічних модулів пружності конструкції дорожнього одягу; розрахунок середнього динамічного модулю; визначення залишкового ресурсу працездатності дорожнього одягу.

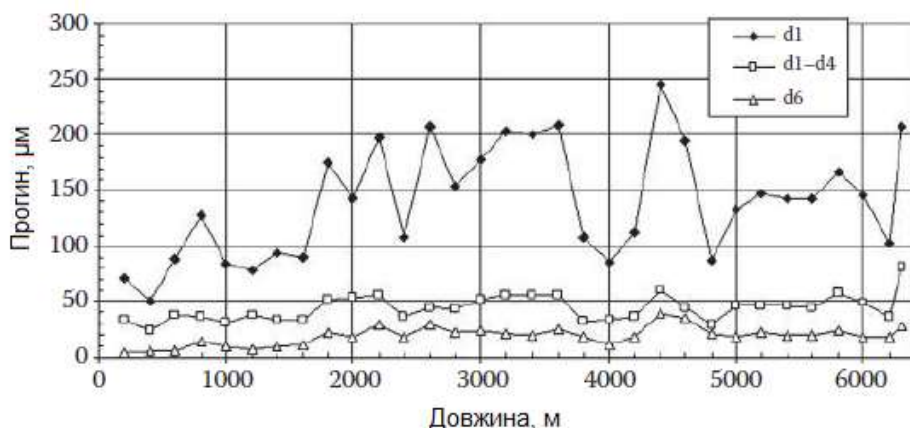


Рисунок 7 – Типовий звіт виданий за результатами вимірювання прогинів за допомогою FWD
Figure 7 – Typical FWD deflection results ([2])

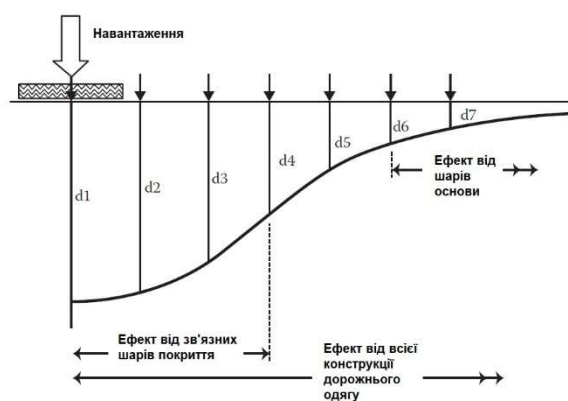


Рисунок 8 – Установка динамічного навантаження Dynatest Falling Weight Deflectometer та виміряно чаша прогину
Figure 8 – Dynatest Falling Weight Deflectometer & deflection bowl. ([2])

Основними перевагами подібних установок є висока точність вимірювання, потужне програмне забезпечення для обробки камеральних та польових даних та одночасне діагностування усіх конструктивних шарів дорожнього одягу.

Інститутом Асфальту [1] була виведена кореляційна залежність між значеннями, визначеними балкою Бенкельмана та установкою динамічного навантаження FWD:

$$BB = 1,61 \times FWD, \quad (1)$$

де BB – прогин, визначений балкою Бенкельмана, дюйм $\times 10^{-3}$

FWD – прогин, визначений установкою динамічного навантаження FWD, дюйм $\times 10^{-3}$ (коректно для навантаження 40 кН та діаметра плити 300 мм).

Рівність дорожнього одягу

Методи та прилади, що застосовуються для визначення рівності поділяються на 4 загальні категорії:

- істинні (статичні профілометри);
- рухомі пристрої опорного типу (профілографи);
- динамічні відносні пристрої переміщення або відгуку;
- динамічні інерційні пристрої (профілометри).

В Україні рівність дорожнього покриття визначається згідно з [12] такими методами:

Вимірювання нерівностей за допомогою триметрової рейки

Визначення рівності за цим методом полягає у прикладанні триметрової рейки до поверхні покриття та вимірюванні просвітів клиновим промірником.

Під час опрацювання результатів відсоток просвітів, значення яких знаходиться у певному діапазоні, визначають за формулою:

$$\delta h_i = \left| \frac{h_{i-1} + h_{i+1}}{2} - h_i \right|, \quad (2)$$

де h_{i-1}, h_{i+1} – відносні відмітки попередньої та наступної точок.

Даний метод є простим з огляду застосованого обладнання, проте є малопродуктивним і трудомістким.

Вимірювання нерівностей за допомогою нівеліра та нівелірної рейки

Метод полягає у визначенні відносних висотних відміток поверхні покриття. Вимірювання виконують послідовно, встановлюючи рейку на покритті вздовж однієї лінії на задалегідь позначених точках з кроком 5 м. Після цього за відносними відмітками цих точок їхні відхили δh_i від прямої лінії, що проходить через попередню ($i-1$) та наступну ($i+1$) точки (рис. 9).

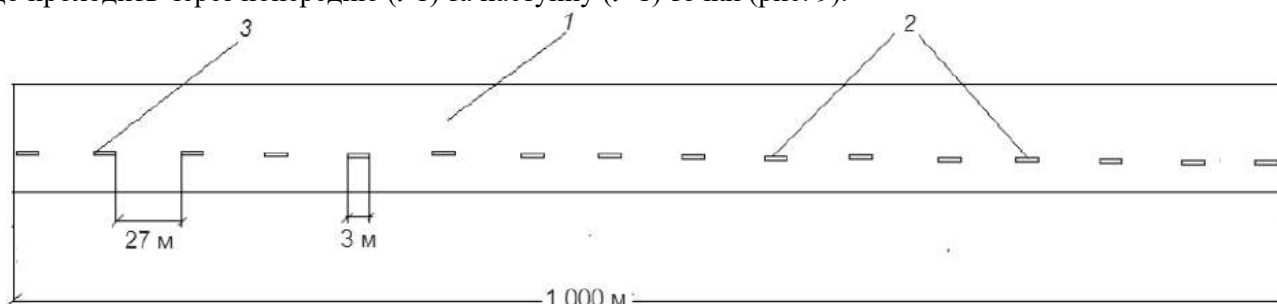


Рисунок 9 – Схема прикладання рейки на 1 км смуги руху
Умовні позначення: 1 – смуга руху; 2 – місця прикладання рейки; 3 – кінець рейки

Figure 9 – The scheme of applying the rail on 1 km of the traffic lane
Conventional designations: 1 – traffic lane; 2 – places of attachment of the rail; 3 – the end of the rail [12]

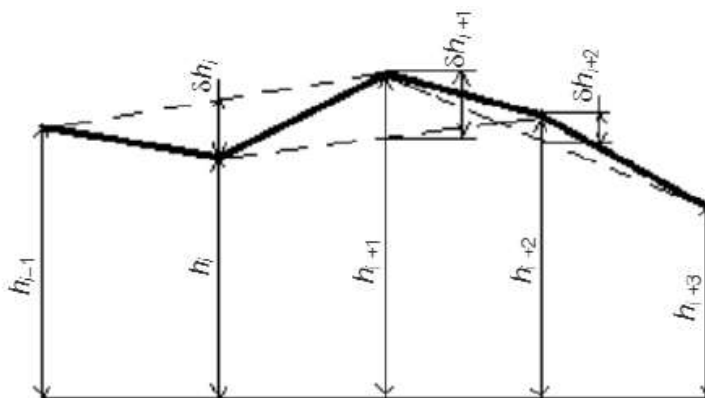


Рисунок 10 – Схема визначення відхилів δh
Figure 10 – Deviation determination scheme [12]

Метод є дуже трудомістким і малопродуктивним, оскільки вимагає значної кількості вимірювань для отримання репрезентативних і точних результатів та застосовується на коротких ділянках (до кількох км). Застосовується, зазвичай, при вибірковому контролі рівності та певних видах досліджень.

Вимірювання нерівностей за допомогою поштовхоміра.

Вимірювання рівності покриття за цим методом полягає у визначенні суми прогинів підвіски автомобіля, а також акселерометри, що вимірюють вертикальне пришвидшення. При встановленні поштовхоміра на автомобілі вимірюється зворотна реакція дороги, а не її нерівності.

За допомогою системи поштовхомірів можливо визначити рівність швидше, ніж рейкою та нівеліром, проте вони мають ряд недоліків: результати вимірювання мають низьку збіжність, тобто вимірювання, проведені з інтервалом у кілька років, не можуть зіставлятися між собою для порівняння, а також не можуть бути зіставленими між результатами, визначеними іншим обладнанням, якщо раніше не була виконана кореляція між ними. Інший недолік – відсутність стандартної шкали нерівності і неможливість приведення всіх вимірювальних приладів до єдиного стандарту.

Вимірювання нерівностей за міжнародним індексом рівності IRI

Вихідними даними для визначення рівності за IRI є мікропрофіль проїзної частини з кроком від 0,25 до 0,5 м, побудований за допомогою нівеліра, триметрової рейки, обладнаної похиломіром, профілометра або установки сканування покриття (табл. 1). Показник IRI визначають з використанням програмного забезпечення RoadRuf, ProVAL, ЛВС чи будь-яким іншим програмним забезпеченням, що може реалізувати математичну модель, наведену нижче:

$$\begin{cases} PI = m_n z_2 + B(z_1 - y_1) + C_1(z - y) = 0 \\ m_k y_2 - B(z_1 - y_1) - C_1 z + (C_1 + C_2)y = C_2 q \end{cases} \quad (3)$$

де m_n – підресорна маса, кг

z – вертикальні переміщення підресорної маси, м;

B – коефіцієнт в'язкого тертя підвіски, Н · с/м;

y – вертикальні переміщення непідресорної маси, м;

C_1 – жорсткість підвіски, Н/м;

m_k – непідресорна маса, кг;

C_2 – жорсткість шини, Н/м;

q – вертикальна координата контакту шини із проїзною частиною, м.

$$\ddot{z} = A\dot{z} + bq, \quad (4)$$

$$\text{де } \ddot{z} = \begin{pmatrix} \ddot{z}_1 \\ \ddot{z}_2 \\ \ddot{z}_3 \\ \ddot{z}_4 \end{pmatrix}; A = \begin{pmatrix} -C & C & -B_1 & B_1 \\ C & -C & B_1 & B_1 + B_2 \\ M & M & M & M \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{pmatrix}; \ddot{b} = \begin{pmatrix} 0 \\ B_2 \\ M \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}.$$

Змінні та коефіцієнти рівняння визначають так:

$$z_1 = \dot{z}; z_2 = \dot{y}; z_3 = z; z_4 = y;$$

$$C = \frac{B}{m_n}; B_1 = \frac{C_1}{m_n}; B_2 = \frac{C_2}{m_n}; M = \frac{m_k}{m_n}. \quad (5)$$

Для розрахунку рівності дорожніх покриттів згідно з IRI приймають такі параметри моделі:

$$B_1 = 63,3 \text{ с}^{-2}; B_2 = 653 \text{ с}^{-2}; C = 6 \text{ с}^{-1}; M = 0,15.$$

Показник рівності дорожніх покриттів за показником IRI обчислюють за такою формулою:

$$IRI = \frac{1}{L} \int_0^L |z_3 - z_4| dl,$$

де IRI – міжнародний Індекс Рівності дорожніх покриттів;

L – довжина ділянки вимірювання;

l – крок вимірювання, м.

Зчіпні якості

Зчіпні якості в Україні визначаються відповідно до [13]

Вимірювання за допомогою автомобілів з динамометричним устаткуванням

Рівень слизькості покриття визначається коефіцієнтом зчеплення, що вимірюється динамометричним візком або портативним приладом, проте його значення лише частково відображає ступінь слизькості, оскільки на нього будуть впливати такі фактори як тиск в шинах, ступінь зносу верхнього шару дорожнього покриття та шин автомобіля, погодні умови та режим гальмування.

Таблиця 1 – Методи та обладнання для визначення рівності дорожнього покриття

Table 1 – Classification of some surface roughness (evenness) measuring devices developed after the 1970s

Категорія методу та обладнання	Характеристика і типові прилади
Істинні профілометри	Вимірювання здійснюється шляхом визначення перепадів висотних відміток поверхні покриття. Рівність визначається за показником IRI. Типові прилади: штанга і рівень, щуп і крокуючий профілометр.
рухомі пристрої опорного типу (профілографи)	Вимірювання профілю поверхні по відношенню до базового рівня дороги, який постійно змінюється (випробувальна шина постійно контактує з дорожнім покриттям). Рівність визначається кількістю нерівностей, виражених у міліметрах. Типові пристрої: рухома лінійка, рухома балка та проілографи, такі як каліфорнійський проілограф, проілограф Rainhart і проілометри CHLOE.
динамічні відносні пристрої переміщення або відгуку	Вимірювання відносного вертикального зміщення колеса або осі колеса на фіксованих відстанях. Рівність виражається в см/км, що конвертуються в IRI. Типові пристрої: інтегратор ударів TRRL на причепі або на автомобілі, вимірювач рівності NAASRA, Mays, PCA.
динамічні інерційні пристрої (профілометри)	Вимірювання профілю прирівнюється до інерціальної точки відліку. Рівність здійснюється: а. Інерційним акселерометом, що може мати лазерний, акустичний або інфрачервоний датчик. Безконтактне вимірювання профілю визначається за показником IRI або RN або іншим індексом якості їзди. Типовий пристрій: інерційний GM proiler (перший побудований інерційний пристрій), Dynatest RSP-III, Furgo ARAN 7000, AMES 8200 high proiler, SSI-High speed proiling systems, VTI laser RST, Greenwood LaserProf, NCAT в Обернському університеті ARAN інерційний пройлер і ROMDAS проілометри. Багатофункціональні транспортні засоби: Dynatest MFV, Агентство автомобільних доріг TRACS-автомобіль, Furgo ARAN 9000 та ін. б. Інерційний маятник. Визначення профілю контактним способом (вимірювальним колесом, за кутовим зміщенням осі інерційного маятника до горизонтального рівня. Рівність визначається за коефіцієнтом APL25, NBO та IRI. Типові прилади: аналізатор поздовжнього профілю (французькою APL) і проілометр KJ Law (США).

Оскільки коефіцієнт зчеплення є одним з показників, що характеризують експлуатаційні якості дорожнього покриття, і в залежності від його значення обирається безпечна швидкість руху автомобіля, то підсумковим документом оцінки слизькості дорожнього покриття буде лінійний графік коефіцієнтів зчеплення на досліджуваних ділянках автомобільної дороги. Якщо на автомобілі встановлений деселерометр, що вимірює ступінь сповільнення при гальмуванні, то коефіцієнт поздовжнього зчеплення визначається за формулою:

$$\varphi = \frac{j \cdot K_e}{g} \quad (3)$$

де j – сповільнення, виміряне деселерометром;

K_e – коефіцієнт, що враховує експлуатаційні фактори;

g – прискорення вільного падіння, м/с²

Вимірювання за допомогою портативних приладів

На сьогоднішній день існує багато портативних приладів для визначення коефіцієнта зчеплення. Значення, отримані за їх допомогою, мають обов'язково зводитись до показників базової автомобільної динамометричної установки шляхом калібрування. Найпоширенішим з них є маятниковий прилад, що відрізняється зручністю та низькою вартістю. Метод базується на терті гумового вкладиша (слайдера), що закріпленій на голівці маятника, з поверхнею дорожнього покриття.

Висновки. Встановлено, що для всебічної оцінки якісних показників автомобільних доріг, що характеризують її транспортно-експлуатаційний стан, варто застосовувати методи та обладнання, що дозволяють оперативно здійснити збір даних та внесення їх до єдиної бази з подальшою їх обробкою, аналізуванням та інтерпретацією. Найбільш ефективні методи вимагають застосування сучасних автоматизованих комплексів, що дозволяють здійснити збір даних в автоматизованому режимі з високою точністю, мінімальною похибкою та виключенням людського фактору при проведенні вимірювань. Значення, отримані, в результаті діагностування, можуть слугувати основою для визначення комплексної оцінки стану автомобільної дороги.

Перелік посилань

1. Asphalt Institute, Asphalt Overlays for Highway and Street Rehabilitation, Manual Series № 17 (MS-17). Maryland: The Asphalt Institute, 1983;
2. Highway Engineering: Pavements, Materials and Control of Quality, Athanassios Nikolaidis, CRC Press, T&F, 2015;
3. Highways Agency, Design Manual for Roads and Bridges [DMRB], Volume 7: Pavement Design and Maintenance, Section 3, Part 2, HD 29/08, London: Department for Transport, Highways Agency, 2008b [© Highways Agency];
4. https://www.concreteconstruction.net/products/enhanced-data-gathering-equipment-edge_o;
5. <https://www.hmp-online.com/files/dokumente/1.04%20Prospekt%20HMP%20PDGpro%20-%20EN%20web.pdf>;
6. New technology for road surface measurement: transverse profile and rut depth, Lundberg, Thomas Andrén, Peter Eriksson, Olle Sjögren, Leif Linköping: Statens väg- och transportforskningsinstitut, 2018. , p. 138
7. The Dynatest Multi Functional Vehicle (MFV) combines the functionality of the Dynatest Road Surface Profiler (RSP) with the Laser Crack Measurement System (LCMS) from Pavemetrics;
8. Основи експлуатації автомобільних доріг і аеродромів : навч. посіб. / В. С. Степура, А. О. Белятинський, Н. В. Кужель. — К. : НАУ, 2013. — 204 с.
9. ДСТУ 2587:2021 Безпека дорожнього руху. Розмітка дорожня. Загальні технічні умови;
10. ДСТУ 3587:2022 Безпека дорожнього руху. Автомобільні дороги. Вимоги до експлуатаційного стану;
11. ДСТУ 4100:2021 Безпека дорожнього руху. Знаки дорожні. Загальні технічні умови. Правила застосування;
12. ДСТУ 8745:2017 Автомобільні дороги. Методи вимірювання нерівностей основи і покриття дорожнього одягу;
13. ДСТУ 8746:2017 Автомобільні дороги. Методи вимірювання зчпних властивостей поверхні дорожнього покриття;
14. ДСТУ 8954:2019 Автомобільні дороги. Оцінювання рівня дефектності дорожнього одягу;
15. ДСТУ Б А.1.1-100:2013 Автомобільні дороги. Терміни та визначення понять;
16. ДСТУ Б В.2.3-42:2016 Автомобільні дороги. Методи визначення деформаційних характеристик земляного полотна та дорожнього одягу;
17. М 218-02071168-639:2008 Методика оцінки стану поверхні покриттів автомобільних доріг з використанням автоматизованої системи відеодіагностики «ОКО»;
18. СОУ 45.2-00018112-080:2011. Автомобільні дороги. Оцінка та реєстрація стану дорожніх покриттів та технічних засобів автомобільних доріг автоматизованими системами відеодіагностики.

ANALYSIS OF QUALITY INDICATOR DIAGNOSTIC METHODS OF ROADS

Moroz Taras M, graduate student, National Transport University, e-mail: carmen_17@ukr.net, tel. +380442807909, Ukraine, 01010, Kyiv, Omelyanovich Pavlenko str. 1, of. 206, <https://orcid.org/0000-0001-6730-3004>

Abstract. The purpose of the scientific work is the study of various methods of diagnosing roads to determine their operational condition. In Ukraine, there are concepts for the implementation of pavement condition management systems based on defined transport and operational parameters of the highway, however, for various reasons, they do not find wide practical application, and the procedures for collecting, accumulating data and analyzing the obtained results do not have a systematic approach.

Scientific novelty and practical significance. The study reviewed the main methods and equipment used to determine the transport and operational indicators of highways. The most effective and productive methods and mechanisms of their application are determined, as well as the advantages and disadvantages are given.

Keywords: transport and operational indicators; operational maintenance; equality; strength; defectiveness, roughness, adhesion coefficient

References

1. Asphalt Institute, Asphalt Overlays for Highway and Street Rehabilitation, Manual Series № 17 (MS-17). Maryland: The Asphalt Institute, 1983. [in English].
2. Highway Engineering: Pavements, Materials and Control of Quality, Athanassios Nikolaidis, CRC Press, T&F, 2015. [in English].
3. Highways Agency, Design Manual for Roads and Bridges [DMRB], Volume 7: Pavement Design and Maintenance, Section 3, Part 2, HD 29/08, London: Department for Transport, Highways Agency, 2008b [© Highways Agency]. [in English].
4. https://www.concreteconstruction.net/products/enhanced-data-gathering-equipment-edge_o;
5. <https://www.hmp-online.com/files/dokumente/1.04%20Prospekt%20HMP%20PDGpro%20-%20EN%20web.pdf>;
6. New technology for road surface measurement: transverse profile and rut depth, Lundberg, Thomas Andrén, Peter Eriksson, Olle Sjögren, Leif Linköping: Statens väg- och transportforskningsinstitut, 2018. , p. 138. [in English].
7. The Dynatest Multi Functional Vehicle (MFV) combines the functionality of the Dynatest Road Surface Profiler (RSP) with the Laser Crack Measurement System (LCMS) from Pavemetrics. [in English].
8. Osnovy ekspluatatsii avtomobilnykh dorih i aerodromiv : navch. posib. / V. S. Stepura, A. O. Bieliatynskyi, N. V. Kuzhel. — K. : NAU, 2013. — 204 s. [in Ukrainian].
9. DSTU 2587:2021 Bezpeka dorozhnoho rukhu. Rozmitka dorozhnia. Zahalni tekhnichni umovy. [in Ukrainian].
10. DSTU 3587:2022 Bezpeka dorozhnoho rukhu. Avtomobilni dorohy. Vymohy do ekspluatatsiinoho stanu. [in Ukrainian].
11. DSTU 4100:2021 Bezpeka dorozhnoho rukhu. Znaky dorozhni. Zahalni tekhnichni umovy. Pravyla zastosuvannia. [in Ukrainian].
12. DSTU 8745:2017 Avtomobilni dorohy. Metody vymiriuvannia nerivnostei osnovy i pokryttia dorozhnoho odiahu. [in Ukrainian].
13. DSTU 8746:2017 Avtomobilni dorohy. Metody vymiriuvannia zchipnykh vlastyvostei poverkhni dorozhnoho pokryttia. [in Ukrainian].
14. DSTU 8954:2019 Avtomobilni dorohy. Otsiniuvannia rivnia defektnosti dorozhnoho odiahu. [in Ukrainian].
15. DSTU B A.1.1-100:2013 Avtomobilni dorohy. Terminy ta vyznachennia poniat. [in Ukrainian].
16. DSTU B V.2.3-42:2016 Avtomobilni dorohy. Metody vyznachennia deformatsiinykh kharakterystyk zemlianoho polotna ta dorozhnoho odiahu. [in Ukrainian].
17. M 218-02071168-639:2008 Metodyka otsinky stanu poverkhni pokryttiv avtomobilnykh dorih z vykorystanniam avtomatyzovanoi systemy videodiahnostyky «OKO». [in Ukrainian].
18. SOU 45.2-00018112-080:2011. Avtomobilni dorohy. Otsinka ta reiestratsiia stanu dorozhnikh pokryttiv ta tekhnichnykh zasobiv avtomobilnykh dorih avtomatyzovanyh systemamy videodiahnostyky. [in Ukrainian].