

УДК 625.7/.8
UDC 625.7/.8

DOI:10.33744/0365-8171-2023-114.1-088-098

**ВПЛИВ ЯКІСНОГО СТАНУ ДОРОЖНЬОГО ПОКРИВУ МОСТІВ НА ХАРАКТЕР РУХУ
АВТОТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ**

**THE INFLUENCE OF THE QUALITY CONDITION OF THE ROAD SURFACE OF BRIDGES ON
THE CHARACTER OF VEHICLE TRAFFIC**



Разбойніков Олександр Олександрович, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри автомобілів, Національний транспортний університет, e-mail: razboyn1k@ukr.net, тел.: +380972214790,

<https://orcid.org/0000-0003-3024-0999>



Давиденко Олександр Олександрович, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри мостів, тунелів та гідротехнічних споруд, Національний транспортний університет, e-mail: oleksandr.davydenko@ntu.edu.ua, тел. +380504713399,

<http://orcid.org/0000-0003-0176-3256>



Козарчук Ігор Анатолійович, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри транспортного будівництва та управління майном, Національний транспортний університет, Київ, Україна, e-mail: igorkozarchuk@ntu.edu.ua, тел. +380938895646,

<http://orcid.org/0000-0003-4972-6016>



Клочан Арсен Євгенійович, асистент кафедри інформаційно-аналітичної діяльності та інформаційної безпеки, Національний транспортний університет, Київ, Україна, e-mail: varsenchuk@gmail.com, тел. +380683528126,

<https://orcid.org/0000-0002-4225-9382>

Анотація: У даній статті представлено дослідження, спрямоване на ідентифікацію типових деформацій дорожнього покриття та визначення їх геометричних параметрів. Ці деформації не лише впливають на характер руху автотранспортних засобів, але й обумовлюють надмірні динамічні навантаження на автодорожні мости.

У процесі дослідження використовуються різноманітні методи, включаючи вимірювання параметрів руху автомобіля, діагностику дефектів мостового полотна. Особлива увага приділяється вивченню впливу цих дефектів на режим руху транспортних засобів та їх вплив на несні мостові конструкції.

Отримані в статті результати ґрунтуються на об'єднанні та аналізі відомостей, які отримані від фахівців у галузях дорожнього будівництва та автомобілебудування. Ці результати є підґрунтям для математичного моделювання руху великовагових автотранспортних засобів мостами з пошкодженим дорожнім покритвом.

Ключові слова: автомобіль, автомобільна дорога, дефекти, дорожній покрив, макропрофіль мікропрофіль, міст, нерівності.

Вступ. Режим руху великовагового транспортного засобу формується за рахунок комплексного впливу сил. Водій має можливість регулювати тягові, гальмівні та поперечні сили на колесах під час різних маневрів, таких як розгін, гальмування або зміна напрямку руху. Однак існують сили, які не залежать від водійських дій, такі як аеродинамічні, динамічні сили, що виникають при контакті колеса з дефектом дорожнього покриття.

Деформації на дорожньому покритті можуть спричинити як вимушені, так і вільні коливання автомобіля, що виникають у процесі їх подолання. Рівень коливань транспортного засобу, економічність витрат енергії на коливання, швидкість руху, міжремонтний пробіг, ефективність використання та надійність визначаються якісним станом дорожнього покриття [1].

При цьому, коливання підресорених та непідресорених мас автомобіля супроводжуються динамічними навантаженнями на дорожній покрив як при подоланні дефектів, так і після цього. Цей аспект важливий не лише для дослідження експлуатаційних характеристик транспортного засобу, але й для визначення динамічного впливу на дорожній покрив, особливо на мостові конструкції.

Оскільки забезпечення надійності автодорожніх мостів має стратегічне значення, важливість проведення досліджень у цьому напрямку є актуальною. Для успішного вивчення цього питання необхідно проаналізувати типові дефекти дорожнього покриття та їх геометричні параметри, що впливають на характер руху автотранспортних засобів і породжують значні динамічні навантаження на несні конструкції мосту.

Автодорожні мости складаються з семи груп конструктивних елементів, визначених згідно з ДСТУ 9181:2022 «Настанова з оцінювання та прогнозування технічного стану автодорожніх мостів». Три з цих груп – фундаменти, опори та прогонові будови – є визначальними й обумовлюють несну здатність мосту. Мостове полотно включає покрив проїзної частини, гідроізоляцію, бар'єри безпеки, бордюрний камінь, систему водовідведення, тротуари та їх покрив, перилове огороження і деформаційні шви.

Загалом, мостове полотно виконує кілька ключових завдань. Серед них захист несних елементів від транспортного засобу агресивного середовища, забезпечення безпечного руху автотранспорту та пішоходам. Однак при наявності дефектів і пошкоджень цих елементів можуть виникати проблеми, які суттєво впливають на надійність, тривалість служби та безпеку руху.

Порушення поздовжніх та поперечних профілів на підходах до мосту і самій споруді може призвести до втрати плавності руху та додаткових динамічних навантажень в області стоянів та на самому мостовому переході. Комбінація дефектів на мостовому полотні прямо впливає на погіршення умов роботи несних елементів мосту, збільшуючи динамічні впливи, які створюють елементи підвіски автомобіля та колесо під час подолання дефектів. Це, в свою чергу, становить значущий фактор для безпеки та тривалості служби мостової конструкції.

Мета роботи. Мета даного дослідження полягає у визначенні впливу якісного стану дорожнього покриття на рух автотранспортних засобів, що обумовлює утворення підвищених динамічних навантажень на автодорожні мости.

У ході виконання наукового дослідження ставилися та були досягнуті наступні основні завдання:

1. Провести аналіз існуючих літературних джерел щодо впливу якісного стану дорожнього покриття на режим руху автомобіля.
2. Визначити найбільш поширені форми деформацій дорожнього покриття мосту.
3. Провести аналіз руху автотранспортного засобу під час долаття дефектів проїзної частини автодорожніх мостів. Визначити вплив цих дефектів на динаміку руху та створення додаткових навантажень на мостові конструкції.

Аналіз досліджень і публікацій. У роботі [1] запропоновано застосування нейронних мереж типу YOLO (You Only Look Once) та зображень із високою та низькою розділовою здатністю для виявлення дефектів прогонових будов та опор залізобетонних мостів. Запропонований у роботі підхід може бути використаний для швидкого виявлення дефектів мосту в режимі реального часу. В даній роботі розглядаються наступні види дефектів: розтріскування бетонної поверхні, оголення арматури та корозія.

Робота [2] присвячена наукометричному та систематичному аналізу сучасних досліджень пов'язаних із оцінкою дефектів залізобетонних мостів за допомогою методів неруйнівного контролю. У роботі в якості дефектів розглядаються поверхневі та підповерхневі аномалії у залізобетонних мостах.

У роботі [3] представлені результати систематичного огляду автоматизованих підходів та засобів, зокрема методів комп'ютерного бачення, для виявлення дефектів доріг та аномалій, а також їх вплив на безпеку дорожнього руху. Серед основних видів дефектів, які розглядаються в даній роботі можна виділити наступні: вибоїни, тріщини, відшарування, розтріскування, усадка і здуття дорожніх шарів та інші. Дослідники розглядають проблему дефектів та пошкоджень до мостового полотна з точки зору безпеки дорожнього, а також пішохідного руху та наводять наступну класифікацію (рис. 1).



Рисунок 1 – Типи категорій небезпеки на дорозі в контексті виявлення аномалій та дефектів засобами комп'ютерного зору [3]

Figure 1 – Types of road hazard categories in the context of detecting anomalies and defects by means of computer vision [3]

Робота [4] присвячена розгляду питання розпізнавання дефектів із використанням візуальних методів контролю та неймереж із глибоким навчання шляхом виявлення обмежувальної рамки кожного дефекту. Запропонований підхід не може бути застосований для отримання геометричних властивостей кожного окремого дефекту. У даній роботі розглядаються також дефекти залізобетонних конструкцій прогонових будов та опор мостів, а саме: тріщини, розколювання, оголена арматура, ділянки латання та стирання. Зазначені дефекти знижують структурну ємність і довговічність бетону, загальну безпеку та експлуатаційну придатність бетонних конструкцій.

У статті [5] розкривається питання проектування конструкції дорожнього одягу з урахуванням специфіки негабаритних та великовагових перевезень. Особливим аспектом при вирішенні даного питання є врахування міцності і несної здатності мостів і дорожньої конструкції та вибір відповідного спеціалізованого рухомого складу. У роботі розглядаються наступні види дефектів дорожнього покриття: сітка тріщин, вибоїни, поздовжні тріщини, поперечні тріщини, блочні тріщини, проломи цементобетонних плит, лущення, сколювання, раковини, викришування та інші.

У роботі [6] розглядаються особливості дорожніх конструкцій у зоні сполучення мосту та мостового підходу, а також основні види дефектів дорожнього одягу мостів та мостових підходів. Автор розглядає наступні дефекти дорожнього покриття мостів та мостових підходів: посадка ґрунту підходу, тріщини асфальтобетонного покриття, розмив ґрунту, протікання води. Зазначені види дефектів знижують надійність та довговічність асфальтобетонного покриття на мостових переходах та можуть спричинити появу небезпеки «клавійного ефекту».

У роботі [7] автори проводять визначення вартості 1 м² кожного виду ремонту мостів, який може бути застосований в фінансово-економічному модулі Аналітичної експертної системи управління мостами. У дослідженні пропонується експертний розподіл дефектів у залежності від їх впливу на технічний стан конструкцій або споруди в цілому:

1. Недопустимі.
2. Обмежено допустимі.
3. Допустимі.

Зазначимо, що цей експертний розподіл дефектів стосуються всіх семи груп елементів мосту.

Автори у своїй науковій праці [8] розглядають адекватність існуючої методики оцінки рівності доріг на ділянках мостових переходів, та зазначають що дефекти на штучних спорудах автомобільних доріг істотно впливають на комфортність та безпеку руху. У своїх висновках зазначають, що існуюча методика оцінки рівності автомобільних доріг не передбачає виділення ділянок, де розташовані штучні споруди, так як оцінка рівності покриття виконується покілометрово, тому мостові переходи залишається без уваги.

У Посібнику дорожніх «хвороб» розробленому за підтримки USAID [9] розглядаються такі фактори, які викликають найбільш розповсюджені деформації і руйнування дорожньої конструкції: експлуатаційні, природно-кліматичні, будівельні та проектні фактори, а також вплив автомобіля на формування найбільш розповсюджених деформацій і руйнування дорожньої конструкції автомобільних доріг. Зазначається, що найбільш суттєвий вплив із них мають вертикальний вплив автомобіля, несвоєчасність проведення ремонту і недоліки при проектуванні та будівництві дорожньої конструкції. У роботі виділяються наступні види деформацій і руйнування дорожньої конструкції автомобільних доріг: утворення пучин, втрата міцності, просідання, сітка тріщин, лущення, викришування, руйнування кромки, окремі тріщини, колійність, вибоїни. Ділянки мостових переходів у посібнику окремо не розглядаються.

Виклад основного матеріалу.

Дефекти дорожнього покриття характеризуються формою профілю (гармонічною, параболічною, прямокутною тощо), його розмірами (довжиною, висотою) та взаєморозташуванням. З точки зору теорії руху автомобіля нерівності опорної поверхні прийнято класифікувати в залежності від їх впливу на автомобіль. Розрізняють нерівності макропрофілю (довжина хвилі – 100 м і більше), мікропрофілю (довжина хвилі – від 10 см до 100 м) та шорсткості покриття (довжина хвилі – менше 10 см) [4]. При цьому відмічається, що перші та останні майже не впливають на процес коливання

автомобіля (нерівності макропрофілю помітно впливають лише на роботу двигуна та трансмісії (рис. 2, а), а шорсткості поглинаються шинами (рис. 2, б) [2]) [1].

Професор А.П. Солтус наголошує [3], що мікропрофіль опорної поверхні є одним з найбільш суттєвих чинників, який призводить до появи динамічності реакцій в контактні колеса з опорною поверхнею. До того ж мікропрофіль безпосередньо впливає на процес коливання автомобіля [2]. Так, з рисунка 2 видно характер зміни положення центру колеса (непідресорена маса) автотранспортного засобу та його характерної точки на кузові (підресорена маса). Положення зазначених точок до початку долання дефекту дорожнього покриття деформаційного шва мостового переходу наведено на рис. 3, а. Також наведено зміну положення цих точок під час долання від'ємного (рис. 3, б) та додатного (рис. 3, с) кутів атаки [1] дефекту дорожнього покриття.

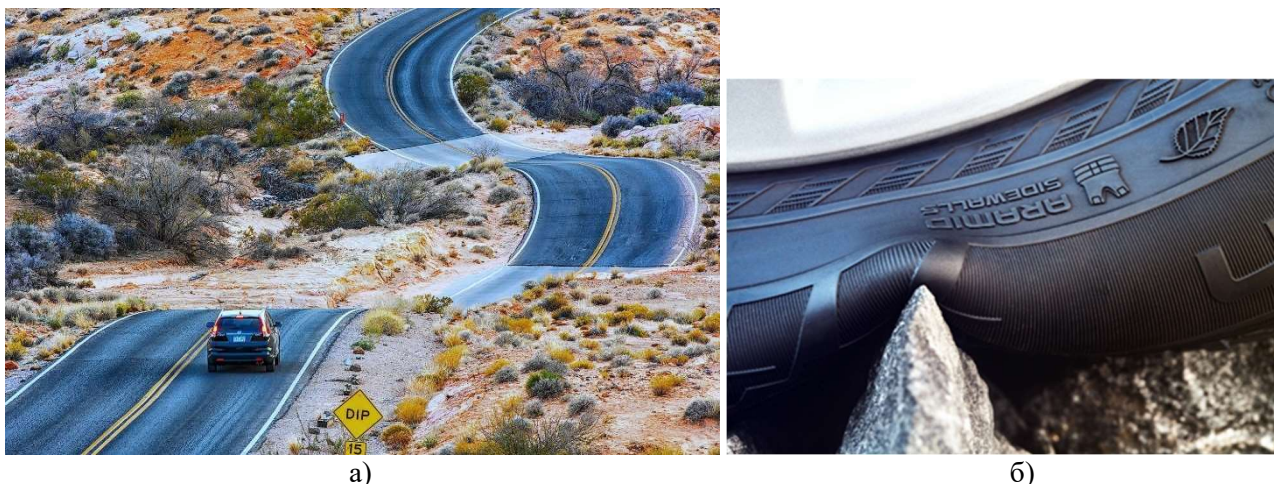


Рисунок 2 – Характер долання автомобілем нерівності макропрофілю (а) та поглинання нерівності його пневматичною шиною (б) [2]

Figure 2 – The character of the car overcoming the unevenness of the macro profile (a) and the absorption of the unevenness by its pneumatic tire (b) [2]

На рис. 3, с, видно суттєве зменшення відстані між підресореною та непідресореною масами автотранспортного засобу, а також збільшення деформації його шини. Зазначене свідчить про збільшення динамічних сил, що діють як у його підвісці так і в плямі контакту між автомобільним колесом та дорожнім покриттям мостового переходу. Зважаючи на те, що саме ці явища найбільш суттєво впливають на характер руху автотранспортних засобів, який призводять до динамічних навантажень на мостовий перехід, далі розглянуто нерівності мікропрофілю.

Мікропрофіль складається з нерівностей (крок нерівностей лежить у межах від 0.1 м до 100 м [2]). При цьому нерівності висотою до 1 см при довжині, що не перевищує довжину відбитка шини, зазвичай називають шорсткостями. Мінімальна довжина нерівності мікропрофілю приймається від 0,2 м до 0,4 м. Я. М. Певзнер зазначає, що найбільш інтенсивні коливання непідресорених мас автомобіля та флуктуації динамічних реакцій між колесом та дорогою спостерігаються на нерівностях довжиною хвилі від 1 м до 2 м при русі з середніми експлуатаційними швидкостями. При збільшенні маси автомобіля, а також висоти нерівностей, нормальні реакції нерівної опорної поверхні зростають [1]. При цьому збільшення кута атаки дорожньої нерівності призводить до зменшення коефіцієнту стійкості автомобіля проти заносу [6].

З огляду на зазначене можна прийти до висновку, що основний вплив на характер руху автотранспортних засобів, що призводить до додаткових динамічних навантажень на міст, чинять дефекти дорожнього покриття, які за своїми геометричними параметрами відносяться до мікропрофілю, тобто довжина дефектів проїзної частини більша відбитка шини.

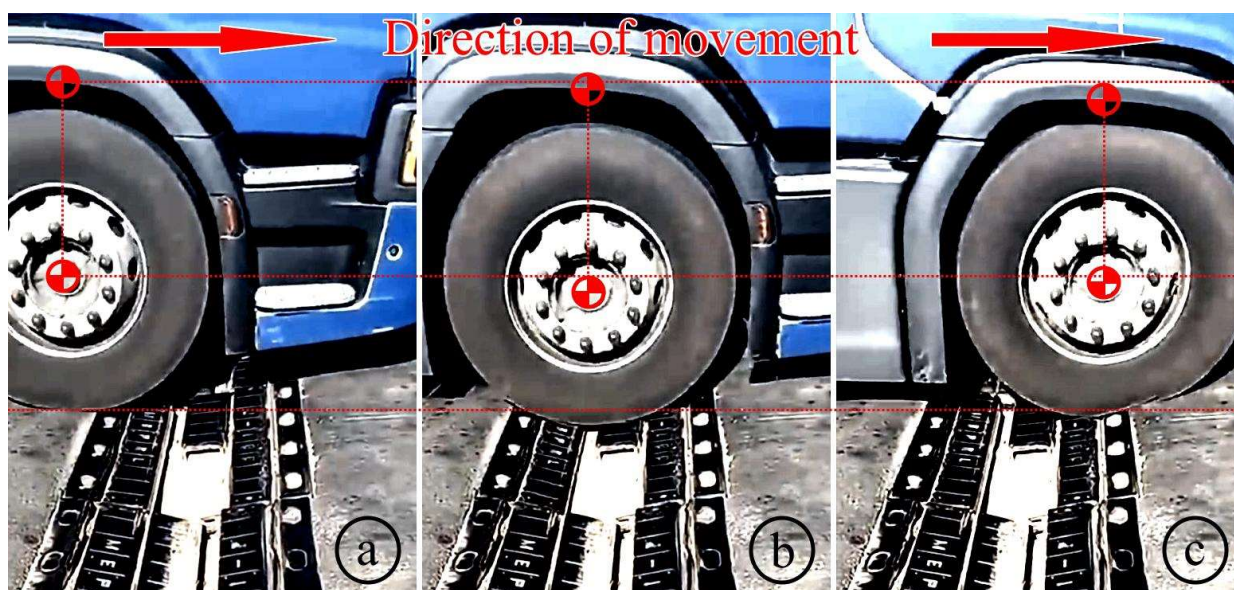


Рисунок 3 – Вплив нерівностей мікропрофілю на характер руху автотранспортного засобу

Figure 3 – Influence of microprofile irregularities on the nature of the vehicle movement

Варто зазначити, що в роботі [5] проведено аналіз збурюючого впливу від нерівностей дороги на транспортний засіб. Автор наголошує, що інтенсивну збурюючу дію мають хвилеподібні ділянки асфальтованих доріг. Вимірювання та статична обробка таких ділянок показали, що найбільш поширені довжини хвиль від 1,5 м до 4,5 м.

Разом із тим гармонічні нерівності можуть бути одиничними, як з від'ємною висотою (вибоїни, гострі краї якої згладжені під дією коліс автотранспортних засобів), так і з додатною (наприклад, виступи в області люків (рис. 4, а) [7]) [1]. Гармонічний профіль нерівності часто обирають (відповідно до стандартизованої методики розрахунку плавності ходу автомобіля) при дослідженні взаємодії колеса автомобіля з нерівною поверхнею дороги [1, 3, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14].

Характерний для гармонічної нерівності профіль (рис. 4, а) дозволяє в області плями контакту шини розглядати опорну поверхню нерівності як площину, що змінює свою висоту та нахил відносно горизонту (кут атаки нерівності). Це суттєво спрощує математичне моделювання процесів, які відбуваються при взаємодії еластичної шини з нерівною поверхнею дороги (рис. 4, б) [1].

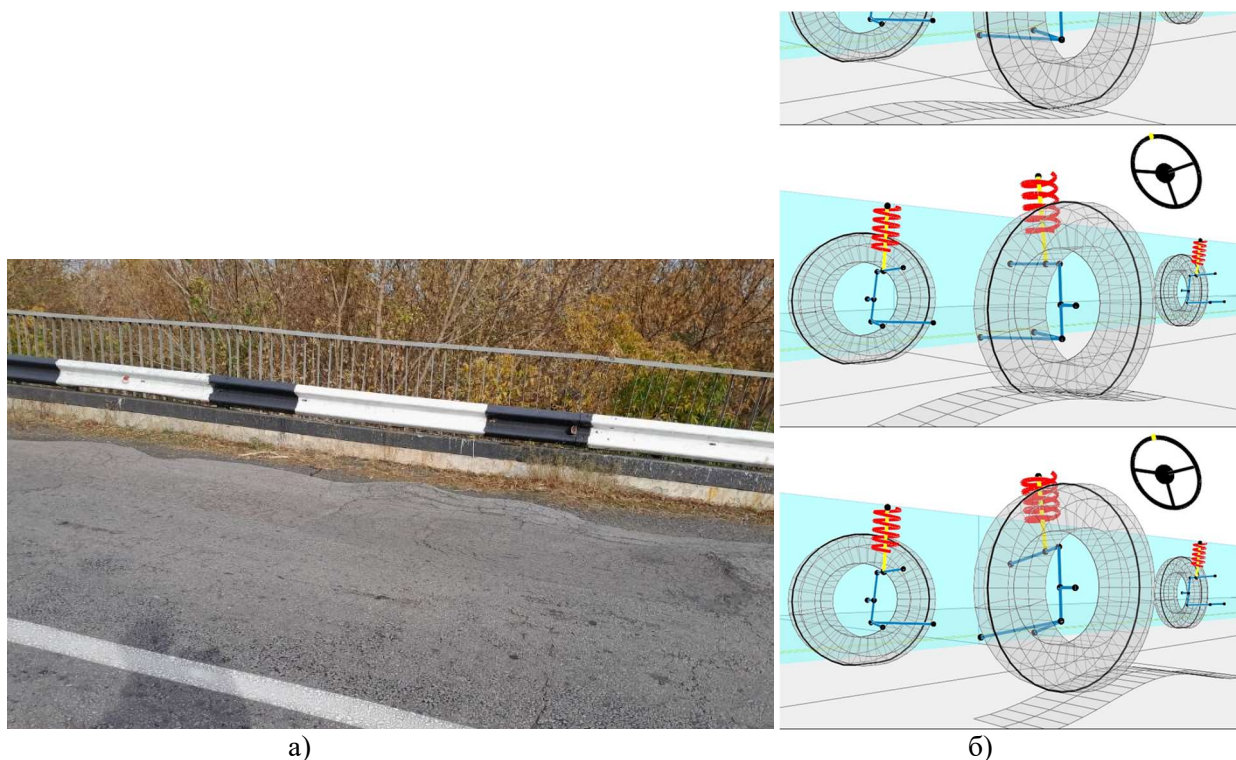


Рисунок 4 – Фото дефекту дорожнього покриття гармонічного профілю (а) та візуалізація математичного моделювання його долаття автомобілем (б) [1]

Figure 4 – Photo of a road surface defect with a harmonic profile (a) and visualization of mathematical modeling of the overcoming it with a car (b) [1]

Варто зазначити, що з точки зору мікропрофілю та його впливу на характер руху автотранспортного засобу (рис. 3), характерний дефект дорожнього покриття мостових переходів виникає в області деформаційних швів (рис. 3, рис. 5).



Рисунок 5 – Характерні дефекти дорожнього покриття мостів в зоні деформаційних швів

Figure 5 – Characteristic defects of the road surface of bridges in the area of expansion joints

З аналізу рисунків 3 та 4 видно, що з точки зору математичного моделювання взаємодії автомобільного колеса з опорною поверхнею дефекти дорожнього покриття мостових переходів в області деформаційних швів, як і вибоїни, гострі краї якої з одного боку згладжені під дією коліс автотранспортних засобів а з іншого – поглинаються пневматичною шиною (рис. 3, б), можна розглядати як нерівності гармонічного профілю з від'ємною висотою.

Висновки.

1. Аналіз літературних джерел вказує на те, що більшість досліджень, здійснених в [1, 2, 3, 4], зосереджені на фіксації та методиках виявлення дефектів несних елементів залізобетонних автодорожніх мостів. Для цього використовуються передові технології моніторингу, такі як високороздільні камери, нейромережі та штучний інтелект. Одночасно наукові роботи, представлені в [5, 6, 7, 8], фокусуються на вирішенні проблем безпеки дорожнього та пішохідного руху, а також на розробці стратегій планування часу проведення та вартості ремонтних робіт.

2. За теорією руху автомобіля, нерівності опорної поверхні класифікуються відповідно до їх впливу на транспортний засіб. Зокрема, виділяються нерівності макропрофілю, мікропрофілю та шорсткості покриття. Мікропрофіль має прямий вплив на процес коливання автомобіля і призводить до виникнення динамічних навантажень, що виникають у точці контакту автомобільного колеса з дорожнім покритвом. Це важливе явище, яке враховується в контексті розгляду якісного стану дорожнього покриття та його впливу на безпеку та комфорт руху транспортних засобів.

3. Основний вплив на динаміку руху автотранспортних засобів та спричинення підвищених навантажень на мостовий перехід визначають дефекти дорожнього покриття, які за своїми геометричними параметрами відносяться до мікропрофілю (імовірність хвилі в діапазоні від 10 см до 100 м). Зокрема, на нерівностях довжиною хвилі від 1 м до 2 м під час руху з середніми експлуатаційними швидкостями спостерігаються найбільш інтенсивні коливання невідвісних мас автомобіля та флуктуації динамічних реакцій між колесом та дорожнім покритвом. Гармонічний профіль нерівності переважно вибирається при вивченні взаємодії колеса автомобіля з нерівною дорожньою поверхнею, дотримуючись стандартизованої методики розрахунку плавності ходу автомобіля. Характерний для гармонічної нерівності профіль дозволяє розглядати опорну поверхню нерівності в області контакту шини як площину, що змінює свою висоту та нахил відносно горизонту. Це спрощує математичне моделювання процесів, які відбуваються при взаємодії еластичної шини з нерівною поверхнею дороги. З точки зору мікропрофілю та його впливу на характер руху автотранспортного засобу, характерний дефект дорожнього покриття мостових переходів виникає в області деформаційних швів. Математичне моделювання взаємодії автомобільного колеса з опорною поверхнею розглядає цей дефект як нерівність гармонічного профілю з від'ємною висотою, подібно до вибоїн, гострі краї яких, з одного боку, згладжуються дією коліс автотранспортних засобів, а з іншого – поглинаються пневматичною шиною.

Подяка

Дослідження, представлене в цій статті, було проведене в рамках реалізації договору «Розробка моделі навантаження за фактичними параметрами великовагового рухомого складу для визначення вантажно-пропускної здатності автодорожніх мостів при їх відновленні та експлуатації у воєнний і повоєнний періоди» з Національним фондом досліджень України.

Перелік посилань

1. Разбойніков О. О. Поліпшення курсової стійкості легкового автомобіля при русі по нерівній дорозі : дис. ... канд. техн. наук : 05.22.02 / Разбойніков Олександр Олександрович. – Київ : НТУ, 2021. – 214 с.
2. Солтус А. П. Теорія експлуатаційних властивостей автомобіля: навчальний посібник для ВНЗ. Київ : Арістей, 2010. 155 с.
3. Солтус А. П. Основы теории рабочего процесса и расчета управляющих колесных модулей : автореф. дис. ... д-ра. техн. наук: 05.22.02. Киев, 1995. 43 с.

4. Богомолов В.О. Моделирование дорожной поверхности для расчета динамики ruchu транспортных средств / В.О. Богомолов, В.І. Клименко, А.Л. Шилов, Р.В. Алексеев // Автомобильный транспорт. – 2011. – Вып. 29. – С. 37-42.

5. Гордеев В. Н. Статистическое исследование возмущающих воздействий от неровностей пути на движущиеся транспортные средства: дис. ... канд. техн. наук : 01.02.06 / Днепропетровск, 1973. 126 с.

6. Клец Д. М. Оценка устойчивости автомобиля против заноса при движении по неровной дороге. Вісник НТУ «ХПІ». 2013. № 30 (1003). С. 55-61.

7. Mitschke Manfred, Wallentowitz Henning. Dynamik der Kraftfahrzeuge. Berlin : Springer, 2014. 919 p.

8. Wolfgang Matschinsky. Radführungen der Straßenfahrzeuge : Kinematik, Elasto-Kinematik und Konstruktion. München : Springer, 2007. 470 p.

9. Jazar R. N. Vehicle Dynamics : Theory and Application. New York : Springer, 2008. 1015 p.

10. Dixon J. C. Suspension geometry and computation. Chichester : Wiley, 2009. 434 p.

11. Rill G. Road Vehicle Dynamics : Fundamentals and Modeling. Boca Raton : CRC Press, 2012. 331 p.

12. Клец Д.М. Определение нормальных реакций на передних и задних колесах автомобиля при движении по неровной дороге. Вестник ХНАДУ. 2013. Вып. 61–62. С. 195-199.

13. Blundell M., Harty D. The Multibody Systems Approach to Vehicle Dynamics : 2nd edition. Oxford : Butterworth-Heinemann, 2015. 756 p.

14. Експлуатаційні властивості автотранспортних засобів. В 3 ч. Ч. 2. Плавність ходу та прохідність автотранспортних засобів : навчальний посібник / В. П. Сахно, В. М. Поляков, А. В. Костенко та ін. Донецьк : ЛАНДОН-XXI, 2014. 354 с.

THE INFLUENCE OF THE QUALITY CONDITION OF THE ROAD SURFACE OF BRIDGES ON THE CHARACTER OF VEHICLE TRAFFIC

Razboinikov Oleksandr O., PhD (Candidate of Engineering Sciences), National Transport University, Associate Professor of the Department of Automobiles, Associate Professor, National Transport University, Kyiv, Ukraine, e-mail: razboyn1k@ukr.net, tel.: +380972214790, <https://orcid.org/0000-0003-3024-0999>

Davydenko Oleksandr O., PhD (Candidate of Technical Sciences), National Transport University, Associate Professor of the Department of Bridges, Tunnels and Hydrotechnical Structures, Associate Professor, National Transport University, Kyiv, Ukraine, e-mail: oleksandr.davydenko@ntu.edu.ua, tel. +380504713399, <http://orcid.org/0000-0003-0176-3256>

Kozarchuk Ihor A., PhD (Candidate of Technical Sciences), National Transport University, Associate Professor of the Department of Transport Construction and Property Management, Associate Professor, National Transport University, Kyiv, Ukraine, e-mail: igorkozarchuk@ntu.edu.ua, tel. +380938895646, <http://orcid.org/0000-0003-4972-6016>

Klochan Arsen Ye., Assistant Professor of the Department of Information Analysis and Information Security, National Transport University, Kyiv, Ukraine, e-mail: varsenchuk@gmail.com, phone: +380683528126, <https://orcid.org/0000-0002-4225-9382>

Summary. This article presents a study aimed at identifying typical deformations of the road surface and determining their geometric parameters. These deformations not only affect the nature of the movement of motor vehicles, but also cause excessive dynamic loads on road bridges. Various methods are used in the research process, including measurement of vehicle movement parameters, diagnosis of bridge deck defects. Special attention is paid to the study of the impact of these defects on the traffic mode of vehicles and their impact on load-bearing bridge structures. The results obtained in the article are based on the combination and analysis of information received from specialists in the fields of road construction and automobile manufacturing. These results are the basis for mathematical modeling of the movement of heavy vehicles on bridges with damaged road surfaces.

Keywords: car, highway, defects, road surface, macro profile, micro profile, bridge, unevenness.

References

1. Razboinikov O.O. Improvement of directional stability of a passenger car when driving on an uneven road: dissertation. ... candidate technical Sciences: 05.22.02 / Razboinikov Oleksandr Oleksandrovych. – Kyiv: NTU, 2021. – 214 p. [in Ukrainian]
2. Soltus A.P. The theory of operational properties of a car: a study guide for universities. Kyiv: Aristei, 2010. 155 p. [in Ukrainian]
3. Soltus A.P. Fundamentals of the theory of the working process and the calculation of control wheel modules: autoref. thesis ... Dr. technical Sciences: 05.22.02. Kyiv, 1995. 43 p. [in Russian]
4. Bogomolov V.O. Modeling of the road surface for the calculation of vehicle traffic dynamics / V.O. Bogomolov, V.I. Klymenko, AL. III. R.V. Alekseev // Automobile transport. – 2011. – Issue 29. – P. 37-42. [in Ukrainian]
5. Gordeev V.N. Statistical study of disturbing effects of road irregularities on moving vehicles: dissertation. ... candidate technical Sciences: 01.02.06 / Dnipropetrovsk, 1973. 126 p. [in Russian]
6. D. M. Klets. Evaluation of the stability of a car against skidding when driving on a rough road. Bulletin of NTU "KhPI". 2013. No. 30 (1003). P. 55-61. [in Russian]
7. Mitschke Manfred, Wallentowitz Henning. Dynamik der Kraftfahrzeuge. Berlin: Springer, 2014. 919 p. [in German]
8. Wolfgang Matschinsky. Radführungen der Straßenfahrzeuge: Kinematik, Elasto-Kinematik und Konstruktion. Munich: Springer, 2007. 470 p. [in German]
9. Jazar R. N. Vehicle Dynamics: Theory and Application. New York: Springer, 2008. 1015 p. [in English]
10. Dixon J.C. Suspension geometry and computation. Chichester: Wiley, 2009. 434 p. [in English]
11. Rill G. Road Vehicle Dynamics: Fundamentals and Modeling. Boca Raton: CRC Press, 2012. 331 p.
12. Klets D.M. Determination of normal reactions on the front and rear wheels of the car when driving on a rough road. Herald of the Khnadu. 2013. Issue 61–62. P. 195-199. [in Russian]
13. Blundell M., Harty D. The Multibody Systems Approach to Vehicle Dynamics : 2nd edition. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2015. 756 p. [in English]
14. Operational properties of motor vehicles. In 3 h. Part 2. Smoothness of movement and passability of motor vehicles: a study guide / V. P. Sakhno, V. M. Polyakov, A. V. Kostenko and others. Donetsk: LANDON-XXI, 2014. 354 p. [in Ukrainian]