

- промислових підприємств: Автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.23.08 / ХДТУБА. – Харків, 1994. – 42 с.
3. Правила оцінки фізичного зносу жилих будинків. КДП 2041-12 Україна 226-93. – К.: Держжитлокомунгосп України, 1993. – 89 с.
 4. Савйовский В.В., Болотских О.Н. Ремонт и реконструкция гражданских зданий. – Харьков: ВАТЕРПАС, 1999. – 287 с.
 5. Шепелев Н.П., Шумилов М.С. Реконструкция городской застройки: Учеб. для строит. спец. вузов. – М.: Высшая школа, 2000. – 271 с.
 6. Шрейбер К.А. Научно-методологические основы организации проектирования реконструкции жилых зданий: Автореф. дис... д-ра техн. наук: 05.23.08 / Ленинградск. инж. строит. ин-т. – Л., 1991. – 42 с.
 7. Шугенко Л.Н. Технологические основы формирования и оптимизации жизненного цикла городского жилого фонда: Дис. ... д-ра техн. наук: 05.23.08. – Харьков, 2002. – 550 с.

УДК 625.768

ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ МЕТОДІВ ВИЗНАЧЕННЯ МІЦНОСТІ ДОРОЖНІХ КОНСТРУКЦІЙ

І.В. Кіяшко, к.т.н., професор, Д.М. Новаковський, аспірант, О.О. Густелев, аспірант

Національний автомобільно-дорожній університет, м. Харків

Сучасний підхід щодо визначення міцності дорожньої конструкції передбачає облік фактичного стану елементів конструкції, умов її роботи у сукупності з показниками параметрів навантаження від проїзду транспортних засобів під впливом різноманітних кліматичних факторів.

Міцності характеристики дорожніх одягів як в нашій країні, так і за кордоном, у більшості випадків оцінюють за еквівалентним (фактичним) модулем пружності, що розраховується по виміряному прогину дорожнього одягу під дією стандартного навантаження.

Серед практичних методів визначення модуля пружності дорожніх конструкцій використовуються методи знаходження статичного прогину, методи навантаження падаючим вантажем, які приводяться до статичного, та методи навантаження колесом, що рухається. В той же час значна кількість характеристик дорожньої конструкції тим чи іншим чином впливає на несучу здатність дорожньої конструкції, тому для її достовірного відображення не достатньо оцінювати тільки значення пружного прогину. Несучу здатність дорожньої конструкції під впливом навантаження від рухомого транспортного засобу характеризують такі параметри як: товщина конструктивних шарів, щільність, вологість, модулі пружності матеріалів шарів та ґрунтів земляного полотна, якість міжшарового зчеплення, наявність пошкоджень та закономірності зміни цих параметрів під впливом кліматичних факторів.

Найпростішими з позиції практичної реалізації є статичні методи оцінки міцності дорожньої конструкції.

Суть статичних методів оцінки міцності полягає в створенні на поверхні покриття питомого тиску, відповідного по значенню дії під колесом розрахункового автомобіля жорсткими металевими штампами, або здвсними колесами розрахункового автомобіля. Передбачається лінійна залежність загального модуля пружності від значення прогину поверхні покриття.

В якості вимірювального обладнання при навантаженні колесом розрахункового автомобіля використовують прогиноміри різних конструкцій (КП-204, МАДИ – ЦНИЛ, ВЕС130 та ін., та високоточні нівеліри.

Статичним методам конструювання і оцінки міцності дорожніх конструкцій характерні наступні основні недоліки:

- не враховуються динамічні процеси, що мають місце в дорожніх конструкціях при реальному русі автомобільного транспорту

- заміна теоретичних обґрунтувань впливу динамічності навантаження емпіричною залежністю, що отримана за певних умов та має обмежену область використання;

- статичні методи дозволяють діагностувати здатність дорожніх конструкцій сприймати дію, що значно більша по тривалості ніж навантаження від автомобільного транспорту, який рухається, і є неінформативними в оцінці міри розвитку втомних процесів в матеріалах конструктивних шарів дорожнього одягу.

В реальних умовах, з погіршенням рівності покриття, динамічна дія автомобільного транспорту зростає. Це виражається, перш за все, в збільшенні енергії, що сприймається дорожньою конструкцією.

Для об'єктивної оцінки стану дорожнього одягу доцільно використовувати дію, аналогічну той, що виникає при русі транспорту. Подібний аналіз напружено-деформованого стану буде найбільш інформативним з позиції визначення здатності дорожньої конструкції сприймати динамічну дію автомобілів.

Практичне використання при оцінці міцності дорожнього одягу в Україні знайшли установки динамічного навантаження такі як УДН-Н, Діна-3М та УДВО-НТУ. Динамічне зусилля, що виникає при скиданні вантажу (до 60 кН) близьке по величині і тривалості дії (до 0,02 – 0,03 с) навантаження від колеса розрахункового автомобіля групи А₁, що рухається.

Процеси, що виникають під дією падаючого вантажу, більш точно відповідають напружено-деформованому стану дорожньої конструкції під впливом реального навантаженням від рухомого автомобільного транспорту, але як показує детальний аналіз напружень, що виникають в елементах дорожньої конструкції, існують відмінності в напружено-деформованому стані конструкції під дією ударного навантаження та рухомого транспортного засобу. Крім того, наведені установки не враховують геометрію чаші прогину, що значно зменшує інформативність аналізу.

В міжнародній практиці серед динамічних методів використовують дефлектометри падаючого вантажу (FWD), дефлектометри колісного навантаження (RWD), та високошвидкісні установки вимірювання прогину (HSD). Дані методи і технічні засоби отримали широке розповсюдження в Голландії, Фінляндії, Данії, Швеції, Франції, Великобританії, США і багатьох інших країнах. Серед установок, що використовують імпульсне навантаження

від падаючого вантажу (FWD), можна відмітити такі як DYNATEST 8000 FWD, DYNAPLAQUE 2, CarlBro PRI 2100 FWD та ін.

Програмне забезпечення, що використовується наведеними установками, базується на аналітико-емпіричній методиці визначення міцності дорожніх конструкцій на основі параметрів чаші прогину шляхом рішення “зворотної задачі” теорії пружнопластичної деформації.

Дефлектометри колісного навантаження (RWD), виконують вимірювання прогину дорожньої конструкції при русі навантаженого напівпричепу з вимірювальним обладнанням, що включає в себе контрольний і вимірювальний лазерні сканери поверхні покриття дорожнього одягу, джерело живлення і блок цифрової обробки інформації (рис. 1). Параметри чаші прогину визначаються шляхом порівняння профілів поверхні покриття до навантаження заднім колесом напівпричепи і в місці дії даного навантаження. Вимірювання забезпечується оптичними вузлами сканерів, що здійснюють амплітудну модуляцію лазерного випромінювання з вимірюванням зсуву фази відображеного від поверхні покриття сигналу. Програмне забезпечення комплексу дозволяє розрахувати на основі даних про шари дорожнього одягу очікувані деформації та ітеративним способом досягти узгодження передбачених і заміряних даних. Установки RWD надзвичайно складні у виготовленні і юстируванні лазерних сканерів, мають підвищене енергоспоживання і високу вартість [7].

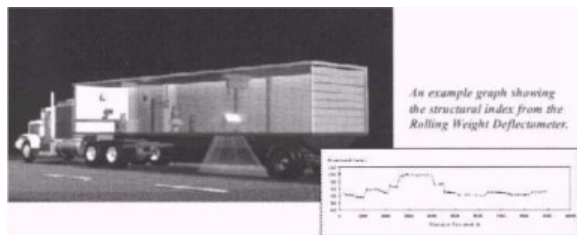


Рис. 1. Установка RWD

Дещо інший підхід до вимірювання параметрів чаші прогину використовується у високошвидкісних установках вимірювання прогину (HSD) (рис. 2). На відміну від установок з падаючим вантажем, установка вимірює не вертикальні переміщення точок поверхні покриття, а швидкість її деформації за допомогою лазерних доплерівських датчиків з подальшим інтегруванням. Змінне навантаження створюється переміщенням вантажу уздовж платформи від кабіни до заднього моста автомобіля. Швидкість руху установки при вимірюваннях складає до 70 км/год. Серед недоліків установки можна відзначити складність калібрування вимірника, оскільки необхідно врахувати вплив стиснення шин і ресор. [7]



Рис. 2. Високошвидкісна установка вимірювання прогину (HSD)

Квазістатичне навантаження дорожнього одягу займає проміжне положення між статичним і динамічним. В квазістатичних методах проводяться вимірювання прогину конструкції під автомобілем, що повільно рухається (до 8-10 км/год). Серед установок, що працюють за таким принципом можна відмітити установки типу Лакруа, курвіметр СЕВТР (Франція), УНК КАДИ, дефлектографи FLASH, А175, та інші.

Перераховані динамічні засоби оцінки міцності дорожніх конструкцій безумовно перевершують статичні методи, як в точності отримуваних результатів, так і в мобільності проведення експериментів. Найбільш інформативним є аналіз динамічного напружено-деформованого стану дорожніх конструкцій. Але найголовнішою перевагою розвитку динамічних методів є подібність дії навантажень, що утворюються при дослідженнях, навантаженням від дії рухомого автомобільного транспорту.

Методи визначення величини пружного прогину не дозволяють в повній мірі оцінити несучу здатність дорожньої конструкції, наприклад у випадках значних руйнувань покриття та розвитку пластичних деформацій, при достатньо високих показниках модуля пружності. Для більш детального аналізу несучої здатності необхідно використовувати додаткові методи визначення параметрів дорожньої конструкції, які дозволяють оцінити якість міжшарового зчеплення, товщини конструктивних шарів, щільність та вологість матеріалу шарів та ґрунту тощо.

Методи діагностики стану дорожньої конструкції з порушенням цілісності її окремих елементів або конструкції в цілому прийнято називати методами руйнівної діагностики. До таких методів можна віднести розкриття конструкції або її окремих шарів механічними або ручними засобами.

Методи руйнівної діагностики можуть застосовуватися в поєднанні з іншими методами як контрольні або для визначення ряду параметрів конструкцій з метою підвищення інформативності і адекватності результатів обстежень.

Ці методи більш об'єктивні, порівняно з неруйнівними методами, при визначенні таких параметрів як товщина шарів конструкції, коефіцієнт ущільнення, вміст в'язучого, якість міжшарового зчеплення та ін. Але разом з цим, руйнуючі методи мають низку істотних недоліків, серед яких:

- значна трудомісткість проведення випробування;
- необхідність усунення пошкоджень викликаних розкриттям або взяттям кернів;

- точність випробувань, що проводяться, яка не дозволяє оцінити досліджувані параметри за площею об'єкту.

Перераховані недоліки значно ускладнюють використання руйнівних методів як самостійних засобів діагностики при лінійних обстеженнях автомобільних доріг.

Перед появою видимих руйнувань та деформацій дорожнього покриття в структурі дорожнього одягу або земляного полотна протікають приховані процеси (утворення порожнин, замулювання дренажних шарів, перезволоження ґрунту земляного полотна, інфільтрація ґрунтових вод і т.п.), своєчасне виявлення яких дозволило б вчасно вживати відповідних заходів щодо їх усунення.

Робота приладів радіолокації підповерхневого зондування (в загальноприйнятій термінології – георадара) базується на використанні класичних принципів радіолокації. Георадар – пристрій, призначений для отримання трансформованого розрізу середовища, що досліджується.

Випромінюваний в досліджуване середовище імпульс відображається від предметів або неоднорідностей середовища, що знаходяться в ньому та мають відмінну від середовища діелектричну проникність або провідність, приймається антеною, посилюється в широкопasmовому підсилювачі, перетворюється в цифровий вигляд за допомогою аналого-цифрового перетворювача і запам'ятовується для подальшої обробки. Після обробки отримана інформація відображається на індикаторі.

В транспортному будівництві (автомобільні і залізничні дороги, аеродроми) георадари використовуються для визначення товщини конструктивних шарів дорожнього одягу і якості ущільнення дорожньо-будівельних матеріалів, визначення глибини промерзання в ґрунтових масивах і дорожніх конструкціях, вмісту вологи в ґрунті земляного полотна і підстилюючих ґрунтових основах та ін.

Разом з явними перевагами, що надають георадарні технології, які полягають в першу чергу в значній інформативності методу, є також істотні недоліки: георадар не ініціює в дорожній конструкції динамічні процеси, що виникають в ній під дією рухомого навантаження. Таким чином, на підставі георадарних досліджень складно прогнозувати поведінку конструкції в експлуатаційних умовах, аналізувати напружено-деформований стан конструкції під дією динамічного навантаження з метою визначення її несучої здатності і довговічності.

Аналіз амплітудно-тимчасових характеристик прискорення та переміщення, що реєструються в асфальтобетонних шарах, показує, що при проїзді транспортних засобів на покриття передається складна коливальна дія, яка обумовлена наступними факторами:

- інтенсивністю, складом та швидкісними режимами руху транспортного потоку;
- нерівностями дорожнього покриття (ідеально рівного покриття в реальних умовах не існує), що обумовлені коливальним рухом кузова та підресорної маси автомобіля;

- власною вібрацією транспортних засобів (робота двигуна та ін.).

Частотний діапазон дії транспортних засобів широкополосен, що підтверджується поданими амплітудами частотних характеристик. При цьому слід відмітити, що у відгуку покриття переважають частотні діапазони: низькочастотні (до 50-100 Гц) та високочастотні (280-330 Гц). Амплітуди прискорення коливань досягають $0,25 \text{ м/с}^2$ при проїзді легкового автомобіля, $0,6 \text{ м/с}^2$ – при проїзді двовісного вантажного автомобіля, $0,8 \text{ м/с}^2$ – при проїзді чотиривісного автомобіля [3].

Враховуючи характер дії на дорожню конструкцію транспортного засобу, що рухається, найраціональнішим є представлення виникаючих в конструкції процесів у вигляді сукупності коливань її елементів. Характер розповсюдження коливань від дії динамічного навантаження в конструкції залежить від характеристик елементів конструкції і є відображенням їх фактичного стану. Шляхом реєстрації і подальшого аналізу параметрів хвильових процесів, що виникають в дорожній конструкції, представляється можливим виконати оцінку фактичного стану і здатності чинити опір дії навантажень від рухомого складу без руйнувань і деформацій під впливом кліматичних чинників.

Класичний підхід до визначення міцності дорожньої конструкції передбачає визначення загального модуля пружності через значення величини прогину дорожньої конструкції під впливом навантаження. Величина прогину залежить від гнучкої жорсткості дорожньої конструкції, яка, в свою чергу впливає на параметри розповсюдження поперечної хвилі зсуву. Таким чином, встановлення залежності між параметрами розповсюдження хвилі зсуву і величиною деформацій дорожньої конструкції дозволить аналізувати напружено-деформований стан дорожньої конструкції під дією динамічного навантаження від рухомого транспортного засобу. Для реєстрації параметрів хвилі зсуву можуть бути використані поверхневі хвилі Релея і Лява (рис. 3).

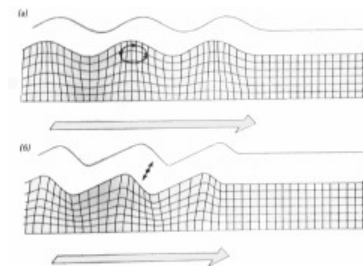


Рис. 3. Поверхневі хвилі (а) Релея і (б) Лява

В останні десятиріччя за кордоном активно застосовується і розвивається метод визначення швидкостей розповсюдження поперечних хвиль, заснований на аналізі дисперсійних характеристик поверхневих хвиль [8]. Даний метод, що носить назву SASW (Spectral Analysis Surface Waves – Спектральний Аналіз Поверхневих Хвиль), включає три етапи:

- проведення польових вимірювань, що дозволяють отримати записи поверхневих хвиль за допомогою спеціалізованого обладнання (рис. 4);
- знаходження з отриманих записів дисперсійних кривих (залежності фазової або групової швидкості від частоти);
- визначення розподілів швидкостей поперечних хвиль в середовищі, що мають дисперсійні криві, близькі до отриманих згідно вимірювань (відновлення розрізу).

До теперішнього часу було розроблено досить багато варіантів методу SASW, що розрізняються типом хвиль, які досліджуються (основна гармоніка хвиль Релея, вищі гармоніки), режимом проведення спостережень (активний, пасивний) і частотним діапазоном вимірювань.

Для побудови теоретичної кривої дисперсії використовуються різні методи. Відомо, що хвиля Релея має декілька форм розповсюдження (гармонік) з різними значеннями фазових швидкостей. Прогресивні методи інверсії враховують вплив вищих гармонік хвиль Релея [8]. В деяких випадках необхідно враховувати ефект об'ємних хвиль із застосуванням методів f-k спектрального аналізу.

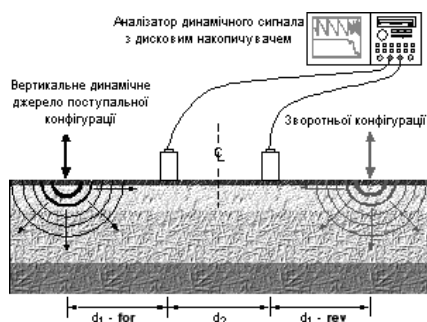


Рис. 4. Комплекс обладнання, що використовується для реєстрації параметрів поверхневих хвиль

Метод спектрального аналізу хвильових полів представляється найбільш перспективним методом неруйнівної діагностики, зважаючи на достатню інформативність параметрів дорожньої конструкції, що досліджуються і можливості аналізу напружено-деформованого стану конструкції під дією навантаження від транспортних засобів, що рухаються.

Аналіз методів визначення міцностних характеристик дорожньої конструкції дозволяє сформулювати основні вимоги до методів, які застосовуються в дорожньому господарстві. Це такі вимоги як:

- збереження цілісності конструкції та її окремих елементів при визначенні параметрів, які характеризують її міцність;
- моделювання реальних умов роботи конструкції при визначенні параметрів, які характеризують напружено-деформований стан дорожньої конструкції.

При лінійних обстеженнях перевага має віддаватися методам, які мають більшу продуктивність, враховуючи сформульовані вимоги, та меншу собівартість досліджень. При наукових дослідженнях необхідно залучати комплекс методів з метою підвищення достовірності та інформативності отриманих результатів.

ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Апестин В.К., Шак А.М., Яковлев Ю.М. Испытания и оценка прочности нежестких дорожных одежд. М.: Транспорт, 1977. – 102 с.
2. Лейвак В.А. Исследование параметров, характеризующих прочность нежестких дорожных одежд при их испытаниях динамической нагрузкой: Диссертация на соискание учёной степени канд. техн. наук: - М., 1975. – 156 с.
3. Углова Е.В. Реальные условия нагружения асфальтобетонных покрытий при динамическом воздействии транспортного потока. Київ. «Збірник наукових статей. Дороги і мости», № 4, 2006. – 200-211 с.
4. Лобов Д.В. Оценка состояния конструктивных слоев дорожных одежд нежесткого типа методом спектрального анализа волновых полей: Диссертация на соискание учёной степени канд. техн. наук: 05.23.11. – М., 2005.- 197 с.
5. Deflectometer Results Using Dimensional Analysis, Fourth International Conference on Concrete Pavement Design and Rehabilitation, Purdue University, West Lafayette, IN, April 1989.
6. Zaghoul, S., T.D. White, V.P. Drnevich, and B. Coree, Dynamic analysis of FWD loading and pavement response using a three-dimensional finite element program, ASTM Non Destructive Testing of Pavements and Back Calculation of Moduli (Second volume), ASTM STP 1198.
7. 2002 DESIGN GUIDE A Product of Project NCHRP 1-37A
8. M. Catalina Orozco. Inversion method for spectral analysis of surface waves (SASW): In Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree Doctor of Philosophy in Civil and Environmental Engineering. - Georgia Institute of Technology, 2003. – 287 p.

УДК 624.012.35

НЕСУЩАЯ СПОСОБНОСТЬ ИЗГИБАЕМЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПО НАКЛОННЫМ СЕЧЕНИЯМ ПРИ ДЕЙСТВИИ ПОПЕРЕЧНОЙ СИЛЫ

Ю.А. Кожанов, к.т.н., доц., Т.В. Гордиенко, н.с., С.А. Илюшечкин, н.с.,
Днепропетровская государственная академия строительства и архитектуры

Введение.

Основная часть изгибаемых железобетонных конструкций, которые применяются в новом капитальном строительстве или при реконструкции