

від міських умов. При такому підході основою до розробки практичних методик розрахунку викидів мають бути не статистичні масові показники, а результати моделювання режимів руху автомобілів з розрахунком параметрів паливо-повітряної суміші і фактичного викиду шкідливих речовин з відпрацьованими газами автомобілів.

## **Література**

1. ВБН В.2.3-218-007-98. Відомчі будівельні норми. Екологічні вимоги до автомобільних доріг. Київ. 1998. 34с.
2. Гутаревич Ю. Ф. Екологія та автомобільний транспорт : навч. посіб. Вид. 2-ге, переробл. і допов. Київ, 2008. 296 с.
3. Говорущенко. Н. Я. Экономия топлива и снижение токсичности на автомобильном транспорте : учеб. пособ. Москва : Транспорт, 1990. 135 с.
4. Пляцук Л. Д., Васькін Р. А., Соляник В. О., Васькіна І. В. Методика розрахунку викидів від автотранспортних засобів залежно від структури транспортного потоку. *Екологія безпеки*. 2011. № 2 (21). С. 116–118.

## **ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ГЕОРАДАРНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ДОРОЖНІХ ОДЯГІВ**

Кондратьєв В.В.,  
Полежаєва О.С.  
(науковий керівник А.Г. Батракова)  
Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Згідно з практикою проектування шарів підсилення дорожнього одягу, за узагальнений критерій несучої здатності дорожнього одягу приймають величину пружного

прогину конструкції, а показники міцності визначають з урахуванням прийнятого розрахункового навантаження, типу покриття, товщини дорожнього одягу, дорожньої зони та ґрунтово-гідрологічних умов ділянки дороги. Під час конструюванню шарів підсилення дорожнього одягу необхідно враховувати залишковий ресурс конструкції, оскільки втрата «плитного» ефекту шарів існуючого дорожнього одягу через накопичення руйнувань (тріщин у монолітних шарах покриття та зміцнених шарах основи) призводить до відбитого тріщиноутворення та передчасного руйнування конструкції дорожнього одягу. Тому актуальним є дослідження техніко-експлуатаційного стану дорожнього одягу методами підповерхневого зондування, що дозволяє позиціонувати неоднорідності та руйнування у конструктивних шарах дорожнього одягу та розробляти конструктивні та технологічні рішення щодо забезпечення тріщиностійкості конструкції дорожнього одягу. Теоретичною основою для проведення робіт з георадарного зондування нежорсткого дорожнього одягу є дослідження, що викладені у роботах [1-6].

Для вирішення завдання георадарного дослідження дорожнього одягу були проведені серії лабораторних експериментів з відбору основного засобу зондування - георадара і параметрів настройки його антенного блоку. У процесі виконаних експериментальних робіт проаналізовані можливості двох різних антенних блоків і оптимізовані параметри обраного блоку. Для експериментів використовувалася лабораторна установка, яка була спрощеною моделлю конструкції дорожнього одягу. Вона являла собою конструкцію з декількох шарів, розміщених у дерев'яному боксі. Найпростіший з варіантів конструкції складався з двох шарів: верхнього шару сухого піску товщиною 17 см і нижнього шару вологого суглинку товщиною 19 см. Під час зондування використовувалися два георадари з різними конструкціями антенних блоків і

значеннями центральної частоти зондуючого надширококутового (НШС) імпульсного сигналу.

Під час проведення експериментів використовували схему [12], яка містить запис сигналу прямого проходження (рис. 1.а) для георадару «ODYAG-1» та для георадару «ODYAG-1.6» (Рис. 1.б). Після цього георадар розміщувався над середовищем, що зондується, на поверхні якого розташований лист металу (рис. 2).



а)

б)

а) «ODYAG-1», б) «ODYAG-1.6»

Рисунок 1 – Запис сигналу прямого проходження



а)

б)

а) «ODYAG-1», б) «ODYAG-1.6»

Рисунок 2 – Антенні блоки над листом металу

Така операція використовується для реєстрації опорного сигналу - «зондуємого імпульсу». Далі лист металу акуратно видалявся таким чином, щоб не змінилася відстань до зовнішньої поверхні досліджуваного середовища і проводилася реєстрація відбитого сигналу. Після закінчення запису відбитого сигналу в даній серії експериментів для підвищення надійності проводився повторний запис сигналу прямого проходження.

Обробка результатів зондування здійснювалася за допомогою програми «GeoVizu». Алгоритм обробки передбачає на початковому етапі вибір одного з зареєстрованих сигналів прямого проходження і віднімання його з усього профілю (всієї множини зареєстрованих відбитих сигналів). Після цього є можливість зберегти весь профіль (всю множину зареєстрованих сигналів) або вибрати і зберегти в новому форматі необхідні сигнали.

На практиці розробникам георадарів і дорожнім інженерам при виборі конкретних антенних блоків доводиться враховувати взаємно суперечливі вимоги. Це пов'язано з вимогою підвищення точності визначення параметрів верхніх шарів покриття використовують антенні блоки з більш високими значеннями центральної частоти. Однак, зважаючи на значне загасання з глибиною таких сигналів, доводиться зменшувати центральну частоту. Крім того, важливим з електродинамічної точки зору є спектр сигналу [7-9].

За результатами детального аналізу отриманих експериментальних даних та їх обробки обґрунтовано доцільність застосування георадару «ODYAG-1.6» з бістатичною щільною антенною системою для вирішення задачі позиціонування підповерхневих тріщин в асфальтобетонному покритті.

Георадарне зондування проводилося на ділянці автомобільної дороги Н-31 ПК 37+00 - ПК 39+00. Вигляд ділянки наведено на рисунку 3.



Рисунок 3 – Загальний вигляд ділянки

За результатами георадарного зондування ділянки автомобільної дороги отримано радарограми (рис. 4). При детальному розгляді необробленого зображення навіть досвідчений оператор не може візуально визначити характерні ознаки наявності локалізованої неоднорідності (в даному випадку тріщини). Тому для підвищення надійності виявлення тріщин і забезпечення достовірності оцінки їх фізико-геометричних характеристик (глибини залягання, діелектричної проникності) було використано додаткову обробку.

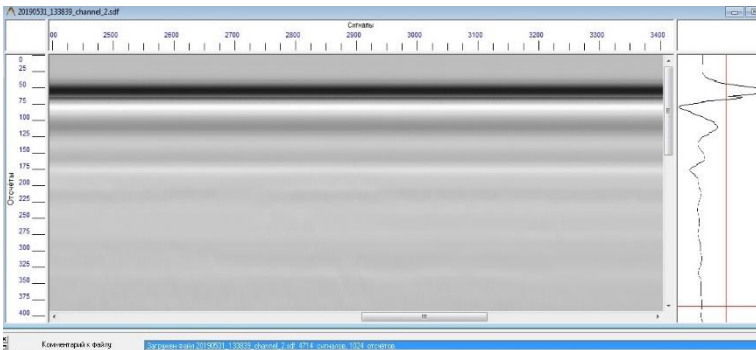


Рисунок 4 – Радарограма  
(неоднорідності на відліках 2700 - 3000)

Відзначимо, що в даній ситуації позиціонуються вузькі тріщини (шириною не більше 1-2 см), Обробка зображення засобами комп'ютерної графіки (зміна контрастності й яскравості зображення) не дає бажаних результатів (з метою економії місця дане зображення не наводиться). Тому у дослідженні реалізована схема обробки, яка враховує специфічні особливості георадара «ОДЯГ-1» й надширокосмугових імпульсних сигналів, які випромінюються і приймаються його антенним блоком. Схема обробки складається з декількох етапів, що виконуються послідовно.

На першому етапі відбувається первинна корекція з урахуванням властивостей так званого сигналу прямого проходження. Як свідчить візуальна оцінка отриманого зображення, його інформативність на цьому підготовчому етапі практично не змінюється. Тому на наступному етапі проводиться подальша обробка з урахуванням характеристик парціальних сигналів, які відповідають даній реалізації (конфігурації оточення антенного блоку - візку і зроблених попередньо операцій калібрування і видалення сигналу прямого проходження). Після обробки на радарограмі спостерігаються видимі відмінності між окремими ділянками зображення. Досвідчений оператор уже здатний дати правильну якісну (але не кількісну) оцінку такої радарограми. Після комплексної корекції яскравості та інших оптичних параметрів (рис. 5) на радарограмі можна спостерігати наскрізну тріщину, що виходить на поверхню на відліку 2890 та спостерігається у вигляді характерної перевернутої гіперболи (цифра «1» на рисунку 5).

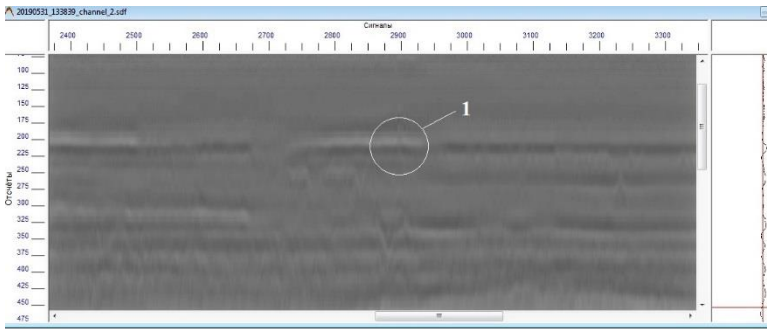


Рисунок 5 – Вид радарограми після третього етапу обробки

Однак найголовніші переваги використання сучасних георадарних технологій полягають у можливості виявлення прихованих (підповерхневих) тріщин й інших неоднорідностей. Так, детальний аналіз даної радарограми після обробки свідчить про наявність у нижніх шарах інших неоднорідностей (рис. 6).

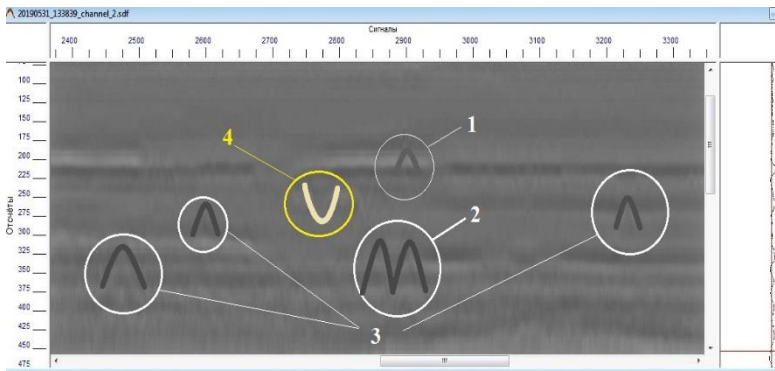


Рисунок 6 – Вид радарограми з позначеними артефактами

Цифрами «2» і «3» позначені підповерхневі неоднорідності (тріщини). Крім того, існує ще один артефакт, позначений цифрою «4». Він не є тріщиною або іншою циліндричною неоднорідністю, оскільки, як буде показано далі, гіперболи, які відповідають таким неоднорідностям, обов'язково спрямовані униз, в той час, як гілки даного артефакту спрямовані вгору. Для зручності сприйняття даного візуального матеріалу на рисунку 6 усі гіперболи обведені відповідними лініями.

Особливий інтерес з точки зору неруйнівного контролю та оцінки технічного стану конструкції являє підповерхнева неоднорідність за номером «2», яка має вигляд літери М. Такі неоднорідності можуть відповідати як здвоєним (близько розташованим) тріщинам, так й одній тріщині, але з великим електричним контрастом (наприклад, заповненої водою або з великим вмістом вологи). Слід зазначити, що в статті розглянутий найбільш складний для візуального сприйняття приклад радарограми. В якості ілюстрації більш простих радарограм на рисунку 7 наведено дані з інших ділянок, отриманих у процесі георадарного зондування.

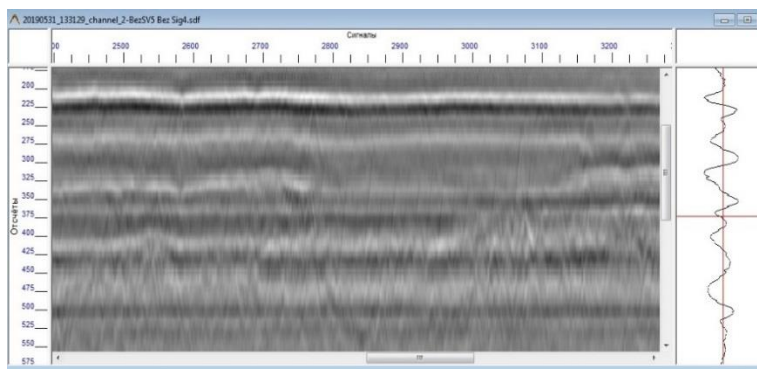


Рисунок 7 – Вид радарограми з контрастними артефактами

Кількісні оцінки фізико-геометричних параметрів шарів дорожнього одягу отримано шляхом додаткової обробки сигналів, що спирається на спеціальні алгоритми і враховує особливості надширокосмугових імпульсних сигналів георадаров [2-6].

Таким чином, результати георадарного зондування дозволяють визначити найбільш небезпечні ділянки, для яких характерна значна неоднорідність конструкції (наявність підповерхневих лінійних неоднорідностей – тріщин). Призначення заходів із забезпечення нормативного техніко-експлуатаційного стану дорожнього одягу повинне враховувати результати георадарного обстеження та спиратися, переважно, на встановлення причин, які призводять до передчасного тріщиноутворення. Для встановлення причин передчасного тріщиноутворення у асфальтобетонних шарах покриття доцільним є проведення додаткового дослідження, що містить аналіз проектних рішень; визначення вологості ґрунту та його фізико-механічних характеристик; оцінювання несучої здатності конструкції за критерієм опору зсуву у ґрунтах земляного полотна; розрахунок напружено-деформованого стану конструкції дорожнього одягу.

## Література

1. Батракова А.Г. Методологія моніторингу дорожніх одягів нежорсткого типу із застосуванням георадіолокаційних технологій: дис. д-ра техн. наук: 05.22.11. Батракова Анжеліка Геннадіївна; Харківський національний автомобільно-дорожній університет – Х., 2014. – 307 с.
2. Batrakova Angelika G., Batrakov Dmitry O., Antyufeyeva Mariya S. Pavement deterioration model based on GPR datasets. Roads and Bridges - Drogi i Mosty. 2018. Vol. 17, № 1. P. 55-71.

4. Пат. 81296 Україна,  
(51) МПК E01C 23/00, G01R 29/08 (2006.01) Спосіб  
виявлення та визначення місць знаходження у тому числі і  
підповерхневих тріщин в асфальтобетонному покритті.  
Батракова А.Г., Батраков Д.О., Почанін Г.П. Бюл. №  
12/2013

5. Пат. 113916 Україна,  
(51) МПК E01C 23/00, G01R 29/08 (2006.01) Спосіб  
виявлення підповерхневих тріщин у асфальтобетонному  
покритті дороги під час руху діагностичної лабораторії в  
транспортному потоці. Батраков Д.О., Урдзік С.М., Почанін  
Г.П., Батракова А. Г. Бюл. № 6/2017

6. Пат. 118409 Україна,  
(51) МПК E01C 23/00, G01R 29/08 (2006.01) Спосіб  
виявлення та визначення напрямку у тому числі і  
підповерхневих тріщин в асфальтобетонному покритті.  
Батраков Д.О., Батракова А. Г., Почанін Г.П., Орленко О.А.  
Бюл. № 1/2019

7. Борн М., Вольф Э. Основы оптики. М. : Наука.  
1973. 720 с.

8. Капустин В.В., Денисов Р.Р., Мойшнен Л.О.  
Применение георадарного метода в квазигоднородных  
средах. «ЭМЗ-2011» : 5-я Всероссийская школа-семинар  
им. М.Н. Бердичевского и Л.Л. Ваньяна по  
электромагнитным зондированиям земли «ЭМЗ-2011».  
2011. Т. 2. С. 343–346.

9. Владов М.Л. Старовойтов А.В. Введение в  
георадиолокацию. М. : МГУ. 2004. 153 с.