

## БУДІВНИЦТВО

УДК 625.85

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2019.6-2/33>**Левківська Л.В.**

Національний транспортний університет

**Горбунович І.В.**

Національний транспортний університет

**Елаллак Д.М.**

Національний транспортний університет

### АНАЛІЗ ФАКТОРІВ ВПЛИВУ НА УТВОРЕННЯ ТРІЩИН В АСФАЛЬТОБЕТОННИХ ДОРОЖНІХ ПОКРИТТЯХ

У статті проведено літературний пошук і комплексний аналіз нинішнього стану функціонування дорожнього господарства України, сучасних тенденцій його розвитку. Встановлено, що дорожня галузь перебуває в досить важкій ситуації, оскільки транспортно-експлуатаційний стан переважної більшості автомобільних доріг України є незадовільним. Через брак фінансових ресурсів будівництво нових доріг здійснюється вкрай рідко, а все частіше проводяться дорожні роботи зі збереження мережі вже наявних доріг і забезпечення їхнього необхідного транспортно-експлуатаційного стану. За результатами проведеного аналізу виділена одна з основних причин передчасного руйнування ново-збудованих або відремонтованих дорожніх покриттів нежорсткого типу – низька міцність міжшарового зчеплення в зоні контакту знову укладеного матеріалу з нижче розташованим шаром. Детально вивчено вплив зчеплення між асфальтобетонними шарами на міцність дорожнього одягу та його довговічність. Проаналізовано низку факторів, які впливають на утворення тріщин у дорожніх покриттях. Доведено, що тріщини зароджуються там, де нормальні напруження розтягу в шарі покриття або дорожнього одягу перевищують межу міцності на розтяг матеріалу відповідного шару. Досліджено негативний вплив тріциноутворень на дорожні одяги нежорсткого типу. Встановлено, що зсувостійкість асфальтобетону, з якого побудована більшість доріг України, може бути забезпечена, якщо в результаті дії транспортного навантаження за високої літньої температури (коли несуча здатність в'язких зв'язків мінімальна) не відбуватиметься руйнування суцільних пружних зв'язків від дії дотичних напружень. Забезпечити роботу асфальтобетону без появи залишкових деформацій можна за умови перевищення міцності пружних зв'язків матеріалу над рівнем напружень, спричинених транспортним навантаженням. Для цього під час облаштування асфальтобетонних шарів посилення слід обов'язково застосовувати такі основні методи ущільнення, як укочування, віброущільнення і комплексний метод, за якого матеріал одночасно піддається укоченню і віброущільненню.

**Ключові слова:** тріщина, асфальтобетонне покриття, зчеплення між шарами, пластична деформація, пружна деформація.

**Постановка проблеми.** Нині у світі відбувається процес автомобілізації, суть якого полягає у швидкому зростанні автомобільного парку та у проникненні автомобіля в усі сфери економічної і соціальної діяльності людини. Ефективність роботи автомобільного транспорту багато в чому залежить від технічного рівня і стану доріг. У разі погіршення технічного стану дороги знижується продуктивність і безпека дорожнього руху, підвищується собівартість перевезень.

Забезпечення ефективних заходів із підвищення безпеки дорожнього руху та зменшення його негативного впливу на навколишнє середовище є складним соціально-економічним і технічним завданням. Вирішується воно шляхом будівництва нових доріг і реконструкції наявних.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Тенденції розвитку дорожнього господарства України показують, що за обмежених фінансових ресурсів на перше місце виступають роботи зі

збереження мережі наявних доріг і забезпечення необхідного транспортно-експлуатаційного стану. Аналіз літературних джерел [1] свідчить про те, що на дорогах домінують деформації і руйнування, пов'язані з недостатньою деформаційною здатністю асфальтобетонних покриттів за певних температур. Залежно від регіонів, а відповідно і від природно-кліматичних умов, тріщини в асфальтобетонних покриттях є одним із основних чинників, які призводять до руйнування дорожніх покриттів.

Викладене вище свідчить про необхідність розроблення та реалізації під час ремонту і реконструкції доріг заходів, які дозволили б підвищити тріщиностійкість асфальтобетонних покриттів, продовжити строки їхньої служби та знизити витрати на їхнє утримання.

Дослідження багатьох учених [2–4] свідчать, що однією з основних причин передчасного руйнування новозбудованих або відремонтованих покриттів нежорсткого типу є низька міцність міжшарового зчеплення в зоні контакту знову укладеного матеріалу з нижче розташованим шаром, оскільки умова міцного зв'язку між шарами найчастіше не дотримується. Під час експлуатації дорожніх покриттів на контакт між шарами відбуваються відносні зміщення, що свідчать про недостатню міцність міжшарового зчеплення за динамічних впливів транспортних засобів, і, як наслідок, виникнення високочастотних коливань призводить до швидкого руйнування дорожніх покриттів.

**Постановка завдання.** Метою статті є аналіз факторів, які впливають на тріщиноутворення асфальтобетонних дорожніх покриттів та оцінка його негативного впливу на дорожні одяги нежорсткого типу, обґрунтування методів ремонту цього виду руйнування.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** На території України найбільш поширеними є дорожні покриття, які облаштовують із використанням асфальтобетону. Поряд із високими технологічними та експлуатаційними показниками таке покриття володіє суттєвими недоліками – високою чутливістю до температурно-зволожувальної дії, безперервних змін міцності та деформативних характеристик у часі у зв'язку з природним старінням в'язучого, що суттєво ускладнює прогнозування їхньої довговічності.

Численні дослідження показують, що умови роботи дорожніх одягів із такими покриттями значною мірою визначаються фізико-хімічними, механічними та погодно-кліматичними факто-

рами, в результаті спільної дії яких відбувається зміна якісних характеристик покриття в процесі його експлуатації. Під час вивчення особливостей роботи дорожніх покриттів з асфальтобетонних сумішей не можна розглядати ізольовано вплив на них тільки однієї окремої групи факторів. Вони повинні розглядатися комплексно, оскільки в комплексі результат їхнього впливу буде різко відрізнятися від впливу кожного з факторів окремо. Асфальтобетон у конструкції дорожнього одягу завжди є в напруженому стані. Ця обставина пов'язана з тим, що виникаючі в ньому напруження ніколи повністю не релаксують. Під впливом цих залишкових напружень у асфальтобетоні буде руйнуватися дорожнє покриття.

Тріщини є найбільш поширеним видом дефектів асфальтобетонних дорожніх одягів (рис. 1).



**Рис. 1. Тріщини на поверхні асфальтобетонного дорожнього покриття**

Основною причиною утворення тріщин є виникнення розтягувальних і згинальних напружень у шарах дорожнього одягу під дією навантажень від автомобілів і температурних коливань, а особливо за спільної дії цих факторів. Тріщини зароджуються там, де нормальні напруження розтягу в шарі покриття або дорожнього одягу перевищують межу міцності на розтяг матеріалу відповідного шару.

Тріщини на покриттях стають помітними за ширини 0,2–1 мм і довжини не менше 10 см. Більш дрібні тріщини або мікротріщини візуально непомітні. Основна частина тріщин, що виникають по смугах накату від дії навантаження, є результатом втомного руйнування шару дорожнього одягу. Тріщини ростуть одночасно у двох напрямках: вгору і по довжині. У разі подальших навантажень тріщина проходить крізь покриття і стає видимою на його поверхні. Інша частина

зароджується на поверхні покриття або іншого шару і розвивається зверху вниз. Це температурні тріщини і тріщини, що виникають у зоні опуклого вигину покриття під дією коліс автомобілів.

Велику частку тріщин на поверхні покриття утворюють відображені тріщини. Це тріщини старого покриття, на яке покладений новий шар асфальтобетону. Досвід показує, що тріщини старого покриття в процесі експлуатації починають проявлятися вже через 1–2 роки, а після 5–7 років можуть повністю повторитися на новому покритті.

Є багато причин утворення тріщин:

- недостатня міцність земляного полотна, яка не відповідає фактичним навантаженням від автомобілів, внаслідок чого виникають великі прогини і розтягувальні напруження в шарах дорожнього одягу;

- великі перепади температур від плюсових до мінусових; особливо небезпечні низькі мінусові температури, які супроводжуються виникненням дуже високих розтягувальних напружень у шарах дорожнього одягу;

- недостатня тріщиностійкість асфальтобетонних покриттів, зумовлена невідповідністю деформаційних властивостей бітуму реальним температурним умовам роботи покриттів;

- різноманіття теплофізичних властивостей матеріалів шарів суміжних покриттів, внаслідок чого виникають додаткові напруження по площинах сполучення шарів за температурних перепадів;

- нерівномірне ущільнення шарів дорожнього одягу;

- утворення здимань, що супроводжується виникненням сітки тріщин у дорожньому одязі [5].

Поява і розвиток тріщин не мають вибухового характеру, але відбуваються досить швидко.

В умовах континентального клімату першими, як правило, з'являються взимку температурні поперечні тріщини. Вони можуть виникати вже в перший рік служби дорожнього одягу. Поздовжні тріщини, тріщини по смугах накату і тріщини довільного напрямку виникають зазвичай через 4 роки і більше на новому покритті. Відображені тріщини можуть з'явитися через 1–2 роки після укладання нового шару.

Найбільш швидко розвиваються тріщини навесні і восени, а найбільш широко розкриваються взимку і навесні. У літній період багато дрібних тріщин закриваються через розм'якшення бітуму і розширення матеріалу в покритті або заковчуються колесами автомобілів.

Тріщини мають різні розміри за шириною, довжиною і глибиною.

Наявність широких тріщин і тим більше сітки тріщин служить явною ознакою утворення ям і вибоїн на дорогах (рис. 2). Вибоїни – місцеві руйнування покриття, глибиною від 20 до 100 мм і більше з різко окресленими краями.

Здебільшого початкова стадія виникнення вибоїн і ямковості збігається з періодом несприятливих погодних умов, особливо з весняним періодом частого переходу від плюсової до мінусової температури повітря, надмірного зволоження ґрунту земляного полотна і шарів дорожнього одягу. Вода, потрапляючи в тріщини, посилює корозійні фізико-хімічні процеси в матеріалах дорожнього одягу, а під час замерзання чинить розтягувальну дію на стінки тріщин і окремі частинки матеріалів. У поєднанні з динамічним впливом від транспортних навантажень матеріал покриття в зоні утворення тріщини починає руйнуватися і вибиватися, а тріщина швидко переростає у вибоїну. Тому тріщини завжди є потенційними джерелами появи вибоїн.



Рис. 2. Ями та вибоїни на дорогах



Міцність дорожнього одягу характеризується модулем тривалості пружності, який розраховується за формулою:

$$E = \frac{pD(1-\mu^2)}{l}, \quad (1)$$

де  $p$  тиск колеса на поверхню дорожнього полотна,  $МПа$ ;  $D$  – діаметр колеса, рівнозначний відбитку колеса,  $м$ ;  $l$  – пружний прогин;  $\mu$  – коефіцієнт бічного розширення, або коефіцієнт Пуассона ( $\mu = 0,3$ ) [6].

Досвід показує, що зі зменшенням міцності дорожнього одягу площа ямковості в процесі експлуатації різко збільшується. Середньорічна площа ямковості на 8-й рік експлуатації дорожнього одягу капітального типу з асфальтобетонним покриттям за коефіцієнта запасу міцності 1,5 становить близько 0,1% від загальної площі, а за коефіцієнта запасу міцності 1,0 становить близько 2%, тобто в 20 разів більше [6].

Іншим джерелом виникнення вибоїн є нерівності дорожнього покриття, починаючи від нерівностей, допущених під час облаштування шарів дорожнього одягу, включно з нерівностями у вигляді тріщин, зсувів і напливів, які виникають у процесі експлуатації асфальтобетонних покриттів із сумішей з підвищеною пластичністю.

Колія – це деформування поперечного профілю проїзної частини з утворенням заглиблень і гребенів уздовж смуг накату внаслідок нерівномірного зносу і накопичення пластичних деформацій у покритті, а також залишкових деформацій у шарах дорожнього одягу та земляного полотна, що відбувається за багаторазового впливу коліс автомобілів.

Насамперед колія може утворюватися завдяки доуцільненню шарів дорожнього одягу по смугах накату, якщо вони не були досить ущільнені під час будівництва. Колія з цієї причини утворюється в перший рік експлуатації. Досвід показує, що доуцільнення дорожнього одягу завершується після проходу 300 тис. стандартних осей вантажного автомобіля.

Знос (стирання) покриття під дією коліс автомобіля відбувається під час гальмування і руху в режимі тяги внаслідок неминучого проковзування шини в зоні контакту колеса з покриттям. Знос відбувається приблизно однаково протягом року, якщо взимку не застосовуються шини з шипами. Враховуючи цю обставину, можна вважати, що в країнах із короткою зимою частка колій із причини зносу покриття становить близько 5%.

Пластичні деформації покриття є причиною 15–20 % випадків утворення колії на асфальтобетонних покриттях, які полягають у накопиченні

вертикальних залишкових деформацій внаслідок підвищення пластичності, тобто зниження структурної в'язкості асфальтобетону за високих температур, яке, у свою чергу, відбувається через зниження в'язкості бітуму або в'язкого опору бітуму зрушенню. Одночасно з вертикальними накопичуються і горизонтальні залишкові деформації. Ці деформації за багаторазових повторних навантажень безперервно зростають, внаслідок чого з боків колії з'являються гребені або вали.

Структурні руйнування покриття відбуваються приблизно однаково протягом усього року, а в шарах основи вони накопичуються найбільше навесні, коли міцність дорожнього одягу найменша.

Зсувостійкість асфальтобетону буде забезпечена, якщо в результаті дії транспортного навантаження за високої літньої температури (коли несуча здатність в'язких зв'язків мінімальна) не відбуватиметься руйнування суцільних пружних зв'язків від дії дотичних напружень.

Забезпечити роботу асфальтобетону без появи залишкових деформацій можна за умови перевищення міцності пружних зв'язків матеріалу над рівнем напружень, спричинених транспортним навантаженням.

Якщо прийняти, що міцність пружних зв'язків відповідає значенню істинної межі пластичності або питомому зчепленню  $C$  в законі Мора-Кулона, то коефіцієнт запасу з умови зсувостійкості може бути визначений за залежністю:

$$K_3 = \frac{k \cdot C}{\tau_{\max} - \sigma \cdot \operatorname{tg} \phi}, \quad (2)$$

де  $k$  – коефіцієнт, що враховує співвідношення тривалого і фактичного модуля релаксації і розбіжність коефіцієнта питомого зчеплення з істинною межею пластичності, що дорівнює 0,8;  $C$  – питоме зчеплення асфальтобетону,  $МПа$ ;  $\tau_{\max}$  – максимальні дотичні напруження,  $МПа$ ;  $\sigma$  – нормальні напруження,  $МПа$ ;  $\phi$  – кут внутрішнього тертя асфальтобетону.

Як основний чинник впливу великовантажних автомобілів на появу пластичних деформацій виступають: питомий тиск і навантаження на колесо. Інші фактори взаємопов'язані один з одним і можуть бути виражені через відповідну заміну і підстановку. Питомий тиск на покриття зростає з підвищенням тиску в шині і зростанням навантаження на колесо. При цьому зростання навантаження на колесо чинить менший вплив на підвищення контактного тиску порівняно з ростом тиску повітря. Зокрема, у разі збільшення вдвічі навантаження на колесо за незмінного внутрішнього тиску

тиск по площі відбитка зростає на 5–10%, тоді як під час збільшення вдвічі внутрішнього тиску в шині за однакового навантаження на колесо – на 40–45%. Пов'язано це з тим, що під час зменшення тиску повітря в шині відбуваються зростання площі і зміна конфігурації відбитка колеса.

Зростання навантаження на вісь із 10 т до 13 т знижує коефіцієнт запасу матеріалу з умови зсувостійкості на 2–5%. Якщо ж під час навантаження в 10 т збільшити питомий тиск повітря з 0,5 до 0,75 МПа, то коефіцієнт запасу матеріалу з умови зсувостійкості знизиться на 10–15%, а під час збільшення з 0,5 до 1,0 – на 30–40%. Щоб знизити коефіцієнт запасу на таку ж величину за постійного тиску, необхідно збільшити навантаження на вісь із 10 т до 22 т. Тобто збільшення тиску повітря в шині небезпечніше, ніж зростання навантаження на вісь.

Схема розташування шарів дорожнього одягу і властивості матеріалів цих шарів за розрахунковою високою температурою впливають на величину напружень і деформацій, а отже – і на кінетику накопичення пластичних деформацій. Конструкційні особливості дорожнього одягу пов'язані з розбіжністю точок максимуму дотичних напружень із максимумом нормальних напружень, що діють в одній площині, а найбільша їхня різниця може спостерігатися в різних частинах дорожньої конструкції залежно від співвідношення властивостей матеріалів конструктивних шарів.

У всіх випадках збільшення жорсткості основи позитивно позначається на стійкості до колієутворення матеріалу покриття. За більш високої жорсткості матеріалу покриття порівняно із жорсткістю нижнього шару, що характерно для існуючих дорожніх одягів, міцність зсуву покриття порівняно з нижнім шаром повинна бути вищою на 30–35%. Однак з огляду на високу температуру покриття досягти цього не завжди вдається. Коли співвідношення жорсткостей покриття і нижнього шару стає менше 1,5, ситуація змінюється на протилежну.

**Висновки.** Виконані розрахунки і аналіз дали змогу зробити такі висновки.

Одним із факторів забезпечення надійності та працездатності дорожньої конструкції є спільна робота її шарів завдяки наявності міцних зв'язків між монолітними шарами, яка можлива під час забезпечення міжшарового зчеплення.

Однак на практиці не завжди вдається забезпечити необхідне зчеплення між асфальтобетонними шарами. Найбільш поширеними причинами цього є такі: невідповідність технологічних режимів укладання шарів дорожнього одягу, перш за

все температурних; неврахування фізико-механічних властивостей матеріалів на етапі будівництва; вплив кліматичних і механічних чинників або їхній комплексний вплив на етапі експлуатації автомобільної дороги.

Під дією вертикального навантаження від колеса автомобіля в шарах дорожнього одягу виникають зсувні напруження. Якщо ці напруження перевищують опір зсуву матеріалу, то внаслідок порушення граничної рівноваги виникають і поступово накопичуються від багаторазового навантаження залишкові деформації. У результаті дорожній одяг починає руйнуватися.

Отже, будь-який міцний дорожній одяг протягом року не повинен мати залишкових деформацій, тобто повинен працювати в стадії оборотних (пружних) деформацій. Опір зсуву зазвичай різко знижується у весняний період за підвищеного зволоження.

Зсувостійкість асфальтобетонного шару посилення залежить, з одного боку, від міцності шару, а з іншого боку, від міжшарового зчеплення його з нижнім шаром.

Крім зсувних зусиль, що виникають у шарах дорожніх одягів від вертикального колісного навантаження, горизонтальні зусилля виникають від дії крутного моменту під час руху автомобіля, збільшуючись під час зміни швидкості руху, зрушення автомобіля з місця і досягають максимуму під час гальмування. Співвідношення вертикального і горизонтального складників навантаження залежать від режимів руху, профілю поверхні проїзної частини, зчеплення колеса з покриттям, конструктивних особливостей автомобіля і досягає здебільшого (75%) від вертикальних навантажень. Сумарні максимальні напруження виникають на глибині 4–10 см від поверхні, тобто на нижній межі шару посилення. Значення міжшарового зчеплення підтверджується експериментально під час випробування моделей на розтяг під час згину.

Міцність і зсувостійкість асфальтобетону залежать від однорідності його структури, процес формування якої дуже складний і вимагає врахування різноманітних факторів, основними з яких є температурні параметри суміші і режими ущільнення. Під час облаштування асфальтобетонних шарів посилення слід обов'язково застосовувати такі основні методи ущільнення, як укочування, віброущільнення і комплексний метод, за якого матеріал одночасно піддається укочуванню та віброущільненню. Структура асфальтобетону, що визначає його міцність і зсувостійкість, значною мірою формується саме в результаті ущільнення.

**Список літератури:**

1. Кулицький С. Проблеми розвитку мережі автомобільних доріг в Україні. *Україна: події, факти, коментарі*. 2017. № 22. С. 56–65.
2. Минаков А.С., Кияшко И.В. Влияние обеспеченности межслойного сцепления на прочность дорожных одежд нежесткого типа. *Проектування, будівництво і експлуатація нежорстких дорожніх одягів* : мат-ли Міжнар. наук.-техн. конф., присвяченої 80-річчю ХНАДУ та дорожньо-будівельного факультету. Харків : ХНАДУ, 2010. С. 112–115.
3. Мозговий В.В., Онищенко А.М., Гаркуша М.В., Аксьонов С.Ю. Сучасні аспекти підвищення колієстійкості нежорсткого дорожнього одягу. *Автошляховик України*. 2012. № 5. С. 25–30.
4. Мозговий В.В., Онищенко А.М., Жуков О.О., Невінгловський В.Ф. Методика оцінки сцеплення между асфальтобетонними слоями при сдвиге. *Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры*. 2010. № 1. С. 53–60.
5. Васильев А.П. Эксплуатация автомобильных дорог : в 2 т. : учебник для студ. высш. учеб. заведений. Москва : Издательский центр «Академия», 2010. Т. 1. 320 с.
6. Садило М.В., Садило Р.М. Автомобильные дороги: строительство и эксплуатация : учеб. пособие. Ростов на Дону : Феникс, 2011. 367 с.

**Levkivska L.V., Gorbunovich I.V., Elallak D.M. ANALYSIS OF FACTORS AFFECTING FORMATION OF CRACKS IN ASPHALT AND CONCRETE PAVEMENTS**

*The article provides a review of literature and complex analysis of roads in Ukraine, their current functional state and tendencies of development. It is established that the road industry is in a rather difficult situation due to unsatisfactory transport and operational conditions of the vast majority of Ukrainian roads. Construction of new roads is extremely rare because of lack of financial resources. Road works are usually carried out to preserve the network of already existing roads and to ensure their necessary transport and operational status. According to the results of the analysis, one of the main reasons for the premature destruction of newly constructed or repaired non-rigid pavements is the low strength of interlayer adhesion in the contact area of the newly covered material with the layer below. The effect of adhesion between asphalt layers on the road strength has been studied in detail. A number of factors influencing formation of cracks on road surfaces are analyzed. It is proved that cracks originate where the normal tensile stresses in the coating layer or road surface exceed the tensile strength of the material of the respective layer. The negative effect of cracks on non-rigid pavements is investigated. It is established that the shear resistance of asphalt concrete pavement of which most of Ukraine's roads are constructed can be ensured if we avoid destruction of continuous elastic bonds due to tangent stresses, that is in result of transport load acting at high summer temperature when the load ability of elastic bonds is minimal. It is possible to ensure a normal operation of asphalt and concrete pavement avoiding appearance of residual deformations provided that the strength of the elastic bonds of the material exceeds the level of tensions caused by the transport load. Therefore, covering of asphalt concrete layers requires imperative application of basic sealing methods as rolling, vibration as well as complex method when the material is rolled and vibrated simultaneously.*

**Key words:** crack, asphalt concrete, adhesion between layers, plastic deformation, elastic deformation.