

Аксьонов С.Ю., Гаркуша М.В.

ТЕОРЕТИЧНІ АСПЕКТИ ПРОЕКТУВАННЯ АСФАЛЬТОБЕТОННИХ ШАРІВ ДОРОЖНЬОГО ОДЯГУ ЗАДАНОЇ ДОВГОВІЧНОСТІ

Анотація. В роботі наведено методи розрахунку на тріщиностійкість асфальтобетонних шарів нежорсткого дорожнього одягу та метод розрахунку на накопичення залишкових деформацій нежорсткого дорожнього одягу. Оцінка температурної тріщиностійкості виходить з двох різних підходів, що використовуються на практиці при експлуатації дорожнього покриття, а моделювання накопичення залишкових деформацій полягає в обробці колії кожного шару конструкції дорожнього одягу.

Ключові слова: нежорсткий дорожній одяг, асфальтобетонні шари, температурна тріщиностійкість, навантаження, деформація, залишкові деформації, міра пошкодження.

Анотация. В работе приведены методы расчета на трещиностойкость асфальтобетонных слоев нежестких дорожных одежд и метод расчета на накопление остаточных деформаций нежесткой дорожной одежды. Оценка температурной трещиностойкости исходит из двух различных подходов, используемых на практике при эксплуатации дорожного покрытия, а моделирование накоплению остаточных деформаций заключается в обработке пути каждого слоя конструкции дорожной одежды.

Ключевые слова: нежесткая дорожная одежда, асфальтобетонные слои, температурная трещиностойкость, нагрузки, деформация, остаточные деформации, степень повреждения..

Annotation. In this paper the calculation methods for crack asphalt layers of non-rigid pavement and the method of calculation of the accumulation of residual deformation of non-rigid pavement. Evaluation of thermal fracture based on two different approaches used in practice in the operation of road surface, and modeling the accumulation of residual strain gauge is finishing construction of each layer of pavement.

Keywords: non rigid pavements, asphalt layers, temperature crack resistance, load, strain, residual strain measure damage.

Вступ

Сучасні методи розрахунку асфальтобетонних шарів дорожнього одягу ґрунтуються на розрахунковій схемі шаруватого пружного напівпростору. Це дозволяє застосовувати теорію пружності для розрахунку конструкції дорожнього одягу на міцність та деформативність. Однак, матеріали, що містять органічне в'язуче характеризуються не тільки пружними властивостями але і пластичністю та в'язкістю. Тому для одержання більш достовірних результатів необхідно удосконалення розрахункової схеми дорожнього одягу на основі врахування як можна більшого числа властивостей, що присутні дорожньо-будівельним матеріалам [1, 2].

Для збереження суцільності асфальтобетонних шарів нежорсткого типу, де проявляють в'язко-пружні властивості (повзучість релаксація), недостатньо традиційного для пружних матеріалів вимоги про те, щоб напруги в будь-який даний момент було менше межі міцності матеріалу, а слід ще врахувати закономірності попередньої зміни напружень. Крім того, як відомо, саме граничний опір в'язко-пружного матеріалу покриття залежить від режиму навантаження (швидкості навантаження або деформування, тривалості напруженого стану) і від температури покриття, яка в часі змінюється [2-7].

Тому для вирішення питання про температурної тріщиностійкості асфальтобетонних шарів, окрім залежностей для визначення температурних напружень, необхідно розташовувати умовою міцності, що враховує часовий характер руйнування при змінненні в часі напруження і температури, так званим умовою тривалої міцності.

Методи розрахунку на тріщиностійкість асфальтобетонних шарів дорожнього одягу

Для більш загальної поведінки асфальтобетонних шарів дорожнього одягу в широкому інтервалі температур, напружень і тривалості їх дії доцільно розглянути комбінацію цих залежностей в різних поєднаннях. Вибір того чи іншого виду залежності ґрунтується на оцінці адекватності їхнього застосування для конкретних складів дорожнього покриття [2, 3].

Спираючись на ці залежності, види, параметри яких знаходяться з експериментів на довговічність при постійному напруженні і постійній

температурі (або інших контрольованих режимах) формулюються критерії умови тривалої міцності, що дозволяють знайти час до руйнування t_p при змінному в часі напруженні $\sigma(t)$ і змінній температурі $T(t)$.

Найбільше визнання до теперішнього часу набули критерії тривалої міцності, запропоновані Бейлі і А.А. Ільюшиним [2, 3]:

$$\int_0^{t_p} \frac{dt}{t * (\sigma(t), T(t))} = 1 \quad (1)$$

$$\int_0^{t_p} \frac{dt}{\sigma * (\sigma(t_p - t), T(t))} = 1 \quad (2)$$

Як видно з (1), (2), передумови, закладені в критеріях Бейлі (1) і Ільюшина (2), в деякому розумінні протилежні.

Розглядаючи критерій Бейлі, припустимо, що напруження σ і температура T довільно змінюються у часі. Тоді при малому проміжку часу dt від t до $(t + dt)$ можна вважати напруження рівним $\sigma(t)$, а температуру $T(t)$. Якби до зразка було прикладено від початкового моменту до повного руйнування постійне напруження $\sigma = \sigma(t)$ при постійній температурі $T = T(t)$, то його довговічність до руйнування згідно відомої з випробування на довговічність становила б $t^*(\sigma(t), T(t))$. Тому відносне зменшення довговічності зразка внаслідок дії на нього напруження при температурі $T(t)$ протягом dt характеризує зміну міри пошкодженості і вона дорівнює $dt/t^*(\sigma(t), T(t))$. Сумарна міра пошкодженості по Бейлі $M_{t_1}^B$ за час t_1 зміни напружень і температури, відповідно, буде рівна:

$$M_{t_1}^B = \int_0^{t_p} \frac{dt}{t \cdot (\sigma(t), T(t))} = 1. \quad (3)$$

Під мірою пошкодженості для асфальтобетонних шарів мається на увазі формальне кінетичне поняття необоротних розривів пошкоджень зв'язків у матеріалі, що накопичуються в часі при певному характері впливу якого або з аналізованих факторів. Міра пошкодженості - відносний параметр, який також характеризує ступінь (частку) пошкодження (руйнування) структури дорожнього покриття при впливі руйнуючого фактору в порівнянні з максимально можливим значенням пошкодження [2 – 5].

Умова А.А. Ільюшина відображає здатність до відновлення зруйнованих зв'язків, що є його якісною перевагою перед умовою Бейлі стосовно дорожнього одягу, котрий виявляє таку здатність. Однак у цій умові не має параметрів, що дозволяють «управляти» проявом «пам'яті» в залежності від особливості даного матеріалу і від градієнта зміни напружень [2-5].

Тому, беручи до уваги простоту критерію Бейлі, а також той факт, що для режиму зміни напруг при охолодженні покриття умова (1) дає запас міцності в порівнянні з (2), нижче при оцінці температурної тріщиностійкості асфальтобетонних шарів використовується умова тривалої міцності Бейлі (1) у разі експериментально доведеної адекватності її застосування.

В інших випадках з метою більш загального обліку зазначених вище характерних особливостей ушкодження асфальтобетонних шарів («пам'ять» щодо історії зміни температури і напруги, «відпочинок» за відсутності напружень, «заліковування» (відновлення) в часі пошкоджених зв'язків та ін.) був використаний підхід, застосовуваний в кінетичній теорії міцності твердих тіл з використанням понять функцій пошкоженості і функцій впливу [2, 3, 6, 7]. Виконані в даному випадку прийоми, наведені в роботі Мозгового В.В. [2].

Маючи тепер рішення для визначення температурних напружень в покритті, умова тривалої міцності і вираз для функції довговічності, можна приступити до побудови методики оцінки температурної тріщиностійкості та розрахунку асфальтобетонних шарів на температурну тріщиностійкість.

Оцінка температурної тріщиностійкості виходить з двох різних підходів, що використовуються на практиці при експлуатації дорожнього одягу.

В даній роботі наведений варіант, коли не допускається утворення температурних тріщин за заданий термін служби.

В цьому випадку в якості показника тріщиностійкості використовується міра пошкодження температурних тріщин M_{TP} і зіставляли її з гранично-допустимим значенням [2, 3].

В цьому випадку граничний стан асфальтобетонних шарів можна записати у вигляді:

$$M_{TP} = [M_T + M_{Тран} + M_{Зч.ш.} + M_{Клав.ефекту}] - [M_{Відновлення}] \leq [C_{TP}] K_{Сегрегації} \quad (4)$$

В даному випадку під пошкодженістю розуміють формальне кінетичне поняття незворотних розривів ушкоджень зв'язків у матеріалі, що накопичуються в часі при визначеному характері впливу основних факторів (в даному випадку під дією температури, транспорту, зчеплення між шарами, клавішного ефекту, сегрегації та відновлення). Міра пошкодженості в нашому випадку відносний параметр, що характеризує ступінь ушкодження структури матеріалу при впливі руйнівних факторів, у порівнянні з максимально можливим значенням пошкодження (в даному випадку руйнування).

Показник M_{TP} визначається як міра пошкодження від дії температурних напружень за один рік служби з найсприятливішим протягом періоду експлуатації температурним режимом для даного регіону. Граничний стан асфальтобетонних шарів можна записати у наступному вигляді:

$$M(\sigma_{Tp}, t, B_t)^b = M(\sigma_T, t, A_t)^a + M(\sigma_{Тран}, t, C_t)^c + M(\tau_{зч.ш.}, t, J_t)^j + M(\tau_{Клав.еф.}, t, R_t)^r - M(\sigma_{звн.}, t, Q_t)^q \leq [C_{TP}]K_{Сегрегації} \quad (5)$$

$$M_{TP} = \int_0^{t_{за}} \frac{\sigma_{Tp}(t)^{b(t,T)}}{B_t(t,T)} dt \quad - \quad \text{граничне значення показника тріщиностійкості}$$

асфальтобетонних шарів;

σ_{Tp} – граничне напруження показника тріщиностійкості асфальтобетонних шарів наведені за аналітичною залежністю в роботі [2];

$$M_T = \int_0^{t_{за}} \frac{\sigma_T(t)^{a(t,T)}}{A_t(t,T)} dt \quad - \quad \text{міра пошкодженості асфальтобетонних шарів від дії}$$

температури;

σ_T – граничне напруження асфальтобетонних шарів від дії температури наведені за аналітичною залежністю в роботах [2], [12];

$$M_{Тран} = \int_0^{t_{за}} \frac{\sigma_{Тран}(t)^{c(t,T)}}{C_t(t,T)} dt \quad - \quad \text{міра пошкодженості асфальтобетонних шарів від дії}$$

транспорту;

$\sigma_{Тран}$ – граничне напруження асфальтобетонних шарів від дії транспорту наведені за аналітичною залежністю в роботах [10] та [12];

$$M_{зч.ш.} = \int_0^{t_{за}} \frac{\tau_{зч.ш.}(t)^{j(t,T)}}{J_t(t,T)} dt \quad - \quad \text{міра пошкодженості асфальтобетонних шарів на}$$

зчеплення між шарами;

$\tau_{\text{Зтин.шар}}$ – граничне дотичне напруження асфальтобетонних шарів на зчеплення між шарами наведена за аналітичною залежністю в роботі [13];

$$M_{\text{Клав.еф.}} = \int_0^{t_{\text{за}}} \frac{\tau_{\text{Клав.еф.}}(t)^{q(t,T)}}{R_t(t,T)} dt$$
 – міра пошкодженості асфальтобетонних шарів від дії

клавiшного ефекту;

$\tau_{\text{Клав.еф}}$ – граничне дотичне напруження асфальтобетонних шарів за від дії клавiшного ефекту наведені за аналітичною залежністю в роботі [14] ;

$$M_{\text{Вiдновлення}} = \int_0^{t_{\text{за}}} \frac{\sigma_{\text{Зтин}}(t)^{q(t,T)}}{Q_t(t,T)} dt$$
 – міра пошкодженості асфальтобетонних шарів від

дії вiдновлення;

$\sigma_{\text{Зтин}}$ – напруження асфальтобетонних шарів від дії вiдновлення наведені за аналітичною залежністю в роботі [11] ;

$K_{\text{Сегрегації}}$ – коефіцієнт сегрегації асфальтобетонних шарів встановлюється експериментально;

$C_{\text{ТР}}$ – допустиме визначення показника тріщиностійкості.

Вiдомо, що крім дії температурних напружень на мiцність і тріщиностійкість асфальтобетонних шарів, як встановлено багатьма дослідниками [2 – 7] та [10 – 12], можуть чинити вiдчутний вплив такі чинники, як водонасичення і заморожування-вiдтавання води в порах (вода - і морозостійкість), механiчна втома від дії транспортних засобів, особливості і якість технології влаштування шарів. Тому при визначенні допустимого значення показника тріщиностійкості $C_{\text{ТР}}$ передбачено враховувати вплив на весь передбачуваний перiод експлуатації перерахованих вище факторів на зменшення нормативного показника тріщиностійкості $C_{\text{ТР}}$ (вiн дорiвнює граничному значенню мiри пошкодження, $C_{\text{ТР}} = 1$) на пiдставі вiдомих результатів дослідження.

Метод розрахунку на накопичення залишкових деформацій нежорсткого дорожнього одягу

Структурно-механiчні властивості можна найповніше охарактеризувати наступними, незалежними один від одного константами матерiалу: модуль пружності (умовно миттєвий або початковий модуль пружності, модуль еластичності, рiвноважний модуль), в'язкість (найбiльша гранична в'язкість, найменша в'язкість, ефективна в'язкість, пластична в'язкість і в'язкість пружної пiслядії), межа текучості для монолітних шарів, час релаксації напруги.

Моделювання накопичення залишкових деформацій полягає в обробці колії кожного шару конструкції дорожнього одягу [8]. В даному підході кожен шар j ділиться на i підшари і колію доведена на поверхні, обчислюють накопичення залишкової деформації $\omega_{зал}$ у кожному шарі з глибиною відповідно за:

$$\omega_{зал} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \cdot \omega_{зал\ ij}^{шар} (t) \cdot \Delta h_{ij}, \quad (6)$$

де $\omega_{зал\ ij}^{шар}$ та Δh_{ij} середня залишкова деформація і товщина i -го підшару шару j , відповідно, n повне число шарів і j повне число підшарів кожного шару; час

t – функція числа прикладних повторних навантажень.

Для асфальтобетонних шарів дорожнього одягу, модель залежна від температури і числа прикладених циклів навантаження [9], має вигляд:

$$\frac{\omega_{зал}^{a/b}(N)}{\Delta \omega_{II}} = k_1 \cdot T^{k_2} \cdot N^{k_3}, \quad (7)$$

де ω_{II} – пружна деформація; Δ – приріст протягом одного циклу навантаження; N – кількість прикладених навантажень і T температура випробування [8] та k_1 , k_2 та k_3 – параметри матеріалів, визначаються в лабораторії (базовий склад).

Для незв'язних шарів використовуємо модель постійного накопичення залишкової деформації, найбільш наближену модель – метод накопичення повторних зсувів незв'язних матеріалів від вантажу, що здійснюється в лабораторних умовах:

$$\omega_{зал}^{n/m}(N) = f(N) \cdot g(p_{max}, q_{max}), \quad (8)$$

де $f(N)$ – функція, заснована на кривій тестових даних (лабораторні дослідження), і $g(p_{max}, q_{max})$ функція, що має відношення до фактичного режиму тиску, від вантажу на поверхні покриття відповідно до критеріїв Мора – Кулона незв'язних матеріалів, і p_{max} і q_{max} представляє пікові значення із середнього нормального стану і зміни втоми, підкреслюють протягом циклу вантажу, відповідно.

Для оцінки залишкових деформацій основи дорожньої конструкції скористаємося моделлю [8]:

$$\frac{\omega_{\text{зал}}^{\text{основа}}(N)}{\Delta\omega_{\text{П}}} = \omega_0 \cdot e^{-\left(\frac{\rho}{N}\right)^\beta}, \quad (9)$$

де ω_0 , ρ і β матеріал залежний від регресійних параметрів.

Висновок

В останні роки виконано ряд досліджень з метою встановлення найбільш характерних причин передчасного руйнування асфальтобетонних шарів. Було вивчено відповідності конструкцій дорожнього одягу умовам руху транспорту та дії природно – кліматичних факторів, вивчення умов будівництва та експлуатації доріг, якості дорожньо-будівельних матеріалів, що застосовуються, технології будівництва і ремонту доріг, а також інших факторів, що впливають на міцність і довговічність дорожнього одягу.

Таким чином, для здійснення розрахунку асфальтобетонного покриття на тріщиностійкість та колієстійкість можна скористатися граничним станом асфальтобетонних шарів використовуючи критерій Бейлі. Час дії, частота і послідовність навантаження з урахуванням термо-реологічних властивостей асфальтобетону можуть бути враховані при застосуванні кінетичної теорії міцності твердих тіл та теорії термо-в'язко-пружності.

Наведені в роботі методи розрахунку на тріщиностійкість асфальтобетонних шарів нежорсткого дорожнього одягу та метод розрахунку на накопичення залишкових деформацій нежорсткого дорожнього одягу необхідно використовувати при проектуванні асфальтобетонних шарів для підвищення довговічності дорожнього одягу.

Література

1. Мозговий В.В., Онищенко А.М., Куцман О.М., Невінгловський В.Ф., Гаркуша М.В., Аксьонов С.Ю. Методика визначення показника втоми монолітних дорожньо-будівельних матеріалів// Будівельні матеріали, виробу та санітарна техніка. – 2012. – № 43. – С. 201–205.

2. Мозговой В.В. Научные основы обеспечения температурной трещиностойкости асфальтобетонных покрытий: Дис. ... докт. техн. наук: 05.22.11. – К., 1996 – 406 с.
3. Радовский Б.С. Теоретические основы конструирования и расчета нежестких дорожных одежд на воздействие подвижных нагрузок.-Дис. докт. техн. наук. – Киев, 1983. – 552 с.
4. Богуславский А.М. Дорожные асфальтобетонные покрытия. – М.: Высшая школа, 1965. – 115 с.
5. Бируля А.К. Конструирование и расчет нежестких одежд автомобильных дорог. – М.: Транспорт, 1964. – 167 с.
6. Казарновская Э.А. Реологические свойства асфальтобетона при отрицательных температурах // Тр. Союздорнии. – 1969. – Вып.11.
7. Руденский А.В., Руденская И.М. Реологические свойства битумоминеральных материалов. – М.: Высшая школа, 1971. – 131 с.
8. Гаркуша М.В. Прогнозування накопичення залишкових деформацій в конструкції нежорсткого дорожнього одягу //Матеріали міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні комп'ютерно-інноваційні технології проектування, будівництва, експлуатації автомобільних доріг і аеродромів». – Харків, 2012. – С. 88–94.
9. ВБН В-2.3-218-186-2004. Споруди транспорту. Дорожній одяг нежорсткого типу.
- 10.Онищенко А.М. Підвищення довговічності асфальтобетонних шарів за рахунок використання полімерних латексів: дис. ... канд. тех. наук: 05.22.11. – Київ., 2008. – 229 с.
- 11.Смолянець В.В. Удосконалення проектування асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу в умовах міст. Автореферат Дис. канд. техн. наук: : 05.22.11. – К., 2005. – 18 с.
- 12.Жуков О.О. Проектування асфальтобетонних шарів зносу для міських вулиць і доріг. Дис. ... канд. техн. наук: : 05.22.11. – К., 2011. – 177 с.
- 13.М 218-02071168-681:2011 Методика розрахунку асфальтобетонних шарів покриття на зсувостійкість .
- 14.A.N. de Bondt Anti-reflective cracking design of (reinforced) asphaltic overlays. – Netherlands, N., 1999. – 365 p.