УДК 675.725

Федоренко Л.І.

ЗАЛЕЖНІСТЬ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ДОРОЖНІХ ОДЯГІВ З ТРІЩИНОЮ В ШАРІ ОСНОВИ ВІД ВПЛИВУ В'ЯЗКОПРУЖНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ МАТЕРІАЛІВ ШАРІВ ДОРОЖНІХ ОДЯГІВ

У загальному випадку вважається, що розрахункова схема конструкції дорожнього одягу автомобільних доріг - це шарувата плита на пружної основі.

Розрахункова схема дорожнього одягу з тріщиною в шару основи, яка розглядається далі, складається з 3-х шарів і напівпростору: шару основи, де може бути тріщина шириною $\Delta \to 0$, і підстиляючий цей шар деформованої основи не обмеженої товщини (рисунок 1).

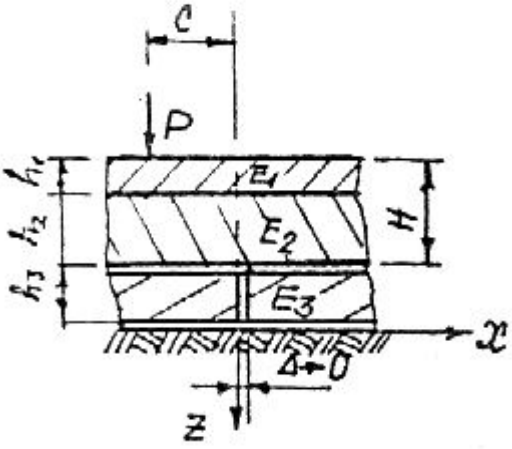

Рисунок 1 - Розрахункова схема плити дорожнього одягу на тріщинуватій основі

Верхні шари загальною товщиною $H=h_1+h_2$ зчеплені між собою та мають з основою гладкий контакт. Шар пружної основи, де може бути тріщина, опирається без тертя на вінклерову основу. Доцільність використання такої розрахункової схеми експериментально підтвердити Л.О.Марков і О.В.Дьогтєв [1].

Для виводу розрахункових залежностей використаний підхід, запропонований Б.С.Радовським. Він ґрунтується на тому, що напружено-деформований стан складеної з декількох шарів конструкції можна описати, якщо відомо рівняння вигнутої поверхні середньої лінії нижніх шарів. Тоді, подаючи це рівняння у вигляді інтеграла Фур'є і розділивши його підінтегральний вираз на

$$\Lambda(\alpha)=1+\sqrt{2\pi}E_1I_1B(\alpha)\alpha^4 \qquad (1)$$

отримаємо шукані формули. В (1) E_1 - модуль пружності матеріалу верхнього шару дорожнього одягу, I_1 - момент інерції його поперечного перерізу, В (α) - трансформанта Фур'є функції В(х), яка залежить від виду деформованої основи і описує вертикальні переміщення її поверхні від поодинокої зосередженої сили.

В якості вихідних, тобто таких, що описують деформований стан окремо нижніх шарів основи, використані рівняння С.П.Тимошенка [2]. Для суцільного дорожнього одягу це необмежена плита з гладкою підошвою, що опирається на пружну основу з коефіцієнтом постелі κ_0 і модулем пружності $E_{гр}$. Тріщинувата основа моделюється двома розташованими поряд на відстані $\Delta \to 0$ напівнескінченними довгими плитами. В першому випадку прогини симетричні відносно координати х точки прикладання сили Р, а в другому (для тріщинуватої основи) - суттєво залежать від відстані С до берега тріщини (рисунок 1). Прогини дорожнього одягу без порушень суцільності визначаються за формулою

$$W_2^{(\Lambda)}(x)W_2^{(np)}(x)=\frac{P\gamma_1^4}{K_0\pi}\int_0^\infty\frac{\cos\alpha x d\alpha}{\gamma_1^4+\alpha^4}, \qquad (2)$$

а на тріщинуватій основі за двома формулами:

$$W_{T2}^{(\Lambda)}(x)=\frac{P}{\pi E_2 I_2}\int_0^\infty F_1(c)\cos\alpha x\, d\alpha\,; \qquad (3)$$

$$W_{T2}^{(\text{np})}(x)=\frac{P\Omega\theta(\beta c)}{\pi E_2 I_2}\int_0^\infty F_2(c)\cos\alpha x\, d\alpha\,. \qquad (4)$$

Тут $\gamma_1=\left[K_0/(E_1I_1+E_2I_2)\right]^{1/4}; E_1I_1\ i\ E_2I_2$ - жорсткості при згині відповідно першого (верхнього) і другого (нижнього) шарів;

$$\theta(\beta c)=e-\beta c\cos\ \beta c;$$
$$\beta=\left[R_0/(4E_1I_1)\right]^{1/4};$$

$F_1(c), F_2(c)$ - функції, які залежать від перемінної α і фізико-механічних та геометричних параметрів дорожнього одягу. Коефіцієнт Ω враховує можливість передачі верхнім шаром прогинів за тріщину:

$$\Omega=W_{T2}^{(\Lambda)}(x=0)/W_{T2}^{(np)}(x=0),\ 0\le\Omega\le 1.$$

Напруження σ в верхньому шарі дорожнього одягу і відносні деформації ε визначаються за формулами:

$$\sigma=-E_1 z\frac{d^2w}{dx^2}, \varepsilon=\frac{\sigma}{E_1},$$

де координата z відраховується від нейтральної поверхні верхнього шару. Коли верхні шари зчеплені між собою, то координату z треба змінити на δ - відстань до нейтральної поверхні пакету шарів, E_1 на E^1, де E^1 - його зведений модуль пружності.

Значення δ і E^1, знаходяться за формулами теорії шаруватих конструкцій, яка розвивається в Українському транспортному університеті. Друга похідна від прогинів в формулі для напружень може бути взятою з кожної із залежностей (2)-(4).

Невласний інтеграл в (2) має табличне значення, тому формула для визначення прогинів дорожнього одягу без порушень суцільності в основі значно спрощується. Інтеграли в (3), (4) треба брати чисельно.

Для випадків, коли навантаження на дорожній одяг не можна вважати зосередженим, з формул (2)-(4) витікають відповідні їм залежності для прогинів, напружень та деформацій при розподіленні навантаження $q = P/D$ по смузі шириною D.

Формули для визначення напружено-деформованого стану дорожнього одягу безпосередньо над тріщиною виведені за умови рішення інтеграла Фур'є у високій балці-стінці шириною Δ.

Для врахування залежності напружень, деформацій і переміщень в тріщинуватому дорожньому одязі від швидкості руху навантаження, асиметрії епюр прогинів поверхні покриття, відставання максимуму прогинів від центра відбитку рухомого колеса в роботі використані співвідношення інтегрально-спадкового типу

$$\varepsilon(t) = \int_0^t \Pi(t-\tau)\, d\sigma(\tau),$$

$$\sigma(t) = \int_0^t R(t-\tau)\, d\varepsilon(\tau).$$

Тут є $\varepsilon(t)$ і $\sigma(t)$ - деформації та напруження в момент часу t. Характеристики в'язкопружності, а саме функції повзучості $\Pi(t-\tau)$ і релаксації $R(t-\tau)$ в певній мірі характерні для дорожньо-будівельних матеріалів. Про це свідчать експериментально-теоретичні криві, побудовано на рисунках 2 та 3, з яких видно, що значення функції релаксації в залежності від часу навантаження змінюються в 2-8 разів.

Визначення напружено-деформованого стану в'язкопружного тріщинуватого дорожнього одягу проводилося як розвиток підходу до монолітних шарів дорожніх одягів, розробленого Б.С.Радовським та А.С.Супруном. Воно зведено до розв'язання за отриманими вище формулами ряду задач теорії пружності, що відрізняються між собою положенням навантаження, його величиною і пружними сталими середовища, які залежать від кривих, наведених на рисунках 2 і 3. Значення шуканих в'язкопружних напружень σ, переміщень W або деформацій ε знаходяться як сума відповідних пружних складових. При цьому фіксовані положення призначаються на початковому етапі розв'язання задачі.

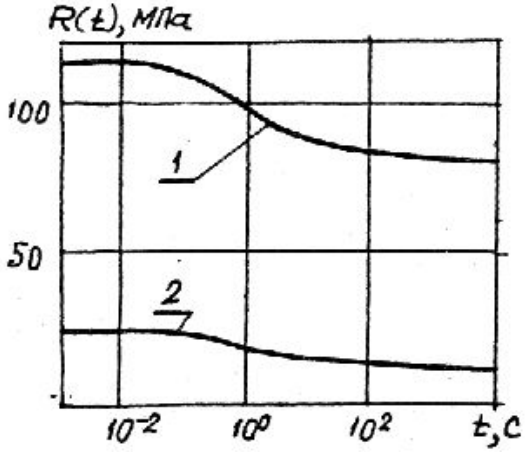

Рисунок 2 - Графіки функцій релаксації для:
I - гранітних висівок під шаром асфальтобетону;
2 - суглинку пилуватого

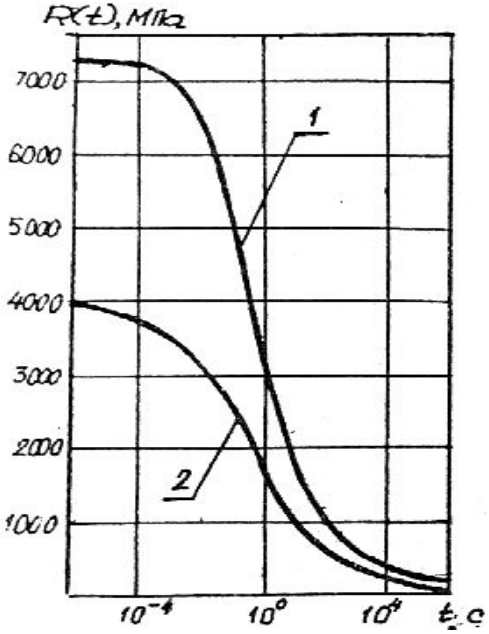

Рисунок 3 - Графіки функцій релаксації для:
I - асфальтобетону типу А; 2 - пісного асфальтобетону

Так рисунок 4 показує, що характер зміни $\varepsilon = \varepsilon_{(\chi)}$, визначених за стендовим експериментом, і рівняннями інженерної методики, подібний. Різниця визначених з експерименту максимальних деформацій (при x = 0) в плиті з тріщиною та без порушень суцільності складає 1,82, а розрахункова - 2,64. Це пояснюється тим, що датчик при експерименті був наклеєний не безпосередньо над тріщиною. Крім того, колесо транспортного засобу не завжди вдавалося зупинити безпосередньо в необхідній точці. Тому на рис. 4 штриховими лініями побудовані криві, які відповідають положенню колеса на відстані 3 см від краю тріщини. Видно, що в цьому випадку дані числового та стендового експериментів значно зближуються

(розбіжність у відносних деформаціях для двох типів одягів, що визначаються, тут складає 2,04).

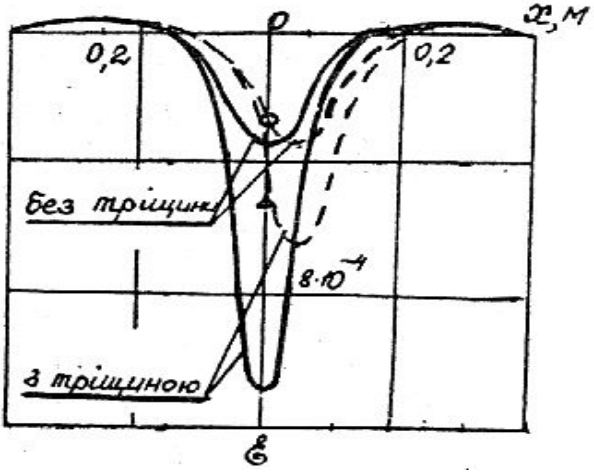

Рисунок 4 - Відносні деформації поверхні плити дорожнього одягу.
Суцільна лінія-колесо в точці з координатою x = 0, штрихова - x = 0,03м.
Знак Δ відповідає величині ξ із стендового експерименту для одягу на тріщинуватій основі, а 0 - на суцільній

Для оцінки достовірності результатів, які отримані за допомогою запропонованої методики, проведено ряд співставлень та розв'язано ряд дослідних задач.

Висновки

На основі співставлення результатів досліджень можна зробити висновок, що в'язкопружні властивості матеріалів шарів дорожніх одягів впливають в більшій мірі на дорожні одяги з порушеннями суцільності в підстиляючому шарі.

Література

1. **Марков Л.А., Дегтев А.В.** Экспериментальное исследование напряженного состояния упругого слоя над швом в основании - В кн.: Актуальные вопросы механики дорожных одежд. - М., 1991, с.51-57

2. **Тимошенко С.П.** Курс теории упругости. - Киев: Наукова думка, 1972. - 507 с.