

УДК 539.3

ТЕРМОПРУЖНЕ ДЕФОРМУВАННЯ ШАРУВАТОГО ПОКРИТТЯ НА ВГНУТІЙ ДІЛЯНЦІ ДОРОГИ

В.В. Гайдайчук¹,

д-р техн. наук

О.О. Густєлев²**А.В. Радкевич³,**

д-р техн. наук

Л.В. Шевчук²,

канд. техн. наук

Н.В. Шлюнь²,

канд. техн. наук

¹Київський національний університет будівництва і архітектури,
Повітрофлотський просп., 31, м. Київ. 03680

²Національний транспортний університет,
вул. М. Омеляновича-Павленка 1, м. Київ. 01010

³Дніпровський національний університет залізничного транспорту ім. академіка В. Лазаряна,
вул. Лазаряна, 2, м. Дніпро. 49010

DOI: 10.32347/2410-2547.2019.102.180-190

Поставлена задача про чисельне дослідження термопружного деформування шаруватого покриття дороги на її вгнутих та прямолінійних ділянках. Сформульовані розв'язні рівняння, побудовані їх скінченно-елементні аналоги. Розглянуто випадки навантажень при різних значеннях геометричних, конструктивних та температурних параметрів.

Проаналізовано вплив викривлення на перерозподіл полів напружень при дії температурних збурень. Оскільки при рівномірному нагріванні (охолодженні) криволінійні шари подовжуються по-різному, то можна зробити висновок, що навіть при найменшій кривизні дороги проявляються властивості концентрації всіх напружень в зонах, які прилягають до кінців дороги. Причому, для прямолінійних доріг нормальні до поверхні контакту напруження практично рівні нулю. При збільшенні кривизни спостерігається збільшення значення нормального розтягуючого напруження по всій довжині дороги, що може привести тим самим до великої ймовірності відриву першого шару від другого.

Чисельними дослідженнями показано, що пікові значення поздовжніх напружень розтягу у верхньому шарі покриття і зсувних напружень, локалізованих між першим і другим шарами, можуть бути причиною спостережуваних на практиці утворення на дорозі на початковій стадії руйнування та подальшого перетворення їх на поперечні тріщини.

Ключові слова: Автомобільна дорога, дорожнє покриття, транспортні навантаження, термопружний стан, поле напружень.

1. Вступ. В останні роки на автомобільних дорогах спостерігається тенденція збільшення інтенсивності руху транспортних засобів і зростання частки великовантажних автомобілів. Факторами, що суттєво впливають на якість автомобільних доріг з асфальтобетонним покриттям, є кліматичні умови і теплові впливи, викликані добовими і сезонними змінами температури дорожніх покриттів. Оскільки існуючі мережі автомобільних доріг не розраховані на такі підвищені значення транспортних навантажень, ці чинники є основними причинами зменшення їх експлуатаційної довговічності. У зв'язку з цим досить актуальною є проблема розробки більш точних механічних і математичних моделей деформування і міцності

дорожніх одягів при їх різних конструктивних схемах, видах матеріалів і діях транспортних і термомеханічних навантажень.

Поля термопружного напруженого стану шаруватого покриття на вгнутих і опуклих ділянках дороги мають деякі відмінності порівняно з випадком прямолінійних дорожніх покриттів. Вони полягають у тому, що в прямолінійних конструкціях при нерівномірних за товщиною полів температури генеруються поля напружень [1-3, 9-11], в яких переважають напруження в напрямках, паралельних площині вільної поверхні, в той час як в напрямку нормалі до неї (тобто вздовж вертикалі) нормальні теплові напруження практично дорівнюють нулю. Проте, на криволінійних ділянках дороги це не так. Річ у тім, що навіть при рівномірному нагріванні (охолодженні) криволінійні шари подовжуються по-різному, їх подовження різні і для забезпечення спільності термопружних переміщень і деформацій елементи шарів деформуються також і вздовж нормалі, викликаючи додаткові напруження (хоч і невеликі), які прагнуть притиснути або відірвати шари один від одного. В зв'язку з цим представляється важливим проаналізувати як впливає викривлення дороги в вертикальній поздовжній площині на перерозподіл полів напружень при дії температурних збурень [1-3]. Для цього приймемо, що дорога викривлена по дузі кола і температура навколишнього середовища змінюється за вибраним законом. Для розв'язання задачі зручно використати циліндричну систему координат. Сформулюємо цю задачу стосовно до конструкції, що розглядається.

2. Основні співвідношення термопружного напруженого стану покриття дороги. Розглянемо задачу про розподілення полів напружень в чотирьохшаровому покритті дороги, яка викривлена по дузі кола в вертикальній площині. Виберемо три значення радіусів кривизни, рівних $R_1 = 974,5$ м (рис. 1 (а)), $R_2 = 189,5$ м (рис. 1 (б)) і $R_2 = 97,5$ м (рис. 1 (в)).

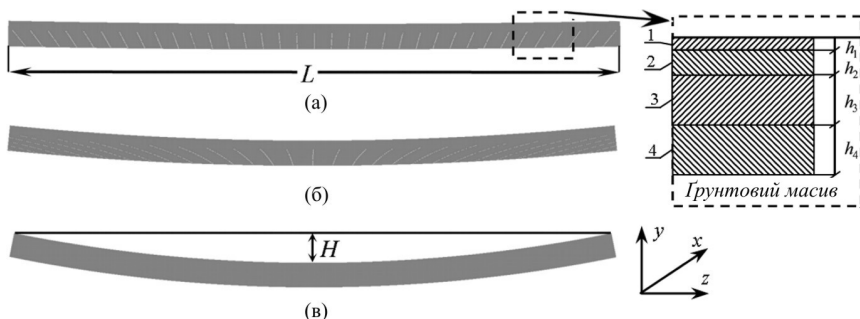


Рис. 1. Профілі дорожніх покриттів в вертикальній поздовжній площині:

(а) – $R_1 = 974,5$ м, (б) – $R_2 = 189,5$ м, (в) – $R_2 = 97,5$ м

Товщини шарів складають $h_1 = 0,05$ м, $h_2 = 0,1$ м, $h_3 = 0,2$ м, $h_4 = 0,2$ м, їх матеріали, відповідно, асфальтобетон дрібнозернистий, асфальтобетон пористий крупнозернистий, щебінь і пісок. Їхні параметри пружності склали $E_1 = 5 \cdot 10^9$ Па, $\mu_1 = 0,2$, $E_2 = 1,4 \cdot 10^9$ Па, $\mu_2 = 0,25$,

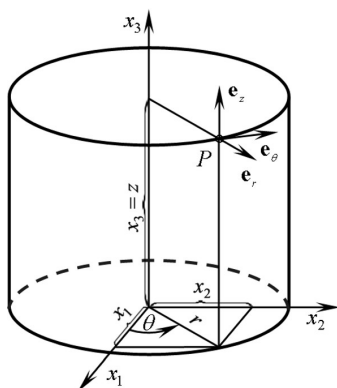


Рис. 2. Циліндрична система координат

$E_3 = 0,4 \cdot 10^9$ Па, $\mu_3 = 0,3$, $E_4 = 0,1 \cdot 10^9$ Па, $\mu_4 = 0,3$. Довжина L ділянки, яка вибрана для розрахунку задавалась рівною $L = 39$ м, для порівняння розглянемо також випадок $L = 15$ м.

Для розрахунку цієї конструкції зручно сформулювати розв'язувальні рівняння в циліндричній системі координат r , θ , z . Тут r направлена в радіальному напрямі, θ – кутова змінна, направлена в коловому напрямі, z – в поперечному напрямі по відношенню до дороги (рис. 2). Рівняння рівноваги пружного елемента [8] мають вигляд (1) – (3)

$$\mu \nabla^2 u_r + (\lambda + \mu) \frac{\partial \varepsilon_{kk}}{\partial r} - \mu \frac{u_r}{r^2} - \frac{2\mu}{r^2} \frac{\partial u_\theta}{\partial \theta} + 2 \frac{\partial \mu}{\partial r} \frac{\partial u_r}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial \mu}{\partial \theta} \left(\frac{1}{r} \frac{\partial u_r}{\partial \theta} + \frac{\partial u_\theta}{\partial r} - \frac{u_\theta}{r} \right) + \frac{\partial \mu}{\partial z} \left(\frac{\partial u_z}{\partial r} + \frac{\partial u_r}{\partial z} \right) + \varepsilon_{kk} \frac{\partial \lambda}{\partial r} - \frac{\partial}{\partial r} [(3\lambda + 2\mu) \alpha_T (T - T_0)] + F_r = 0, \quad (1)$$

$$\mu \nabla^2 u_\theta + \frac{\lambda + \mu}{r} \frac{\partial \varepsilon_{kk}}{\partial \theta} - \mu \frac{u_\theta}{r^2} + \frac{2\mu}{r^2} \frac{\partial u_r}{\partial \theta} + \frac{\partial \mu}{\partial r} \left(\frac{1}{r} \frac{\partial u_r}{\partial \theta} + \frac{\partial u_\theta}{\partial r} - \frac{u_\theta}{r} \right) + \frac{2}{r} \frac{\partial \mu}{\partial \theta} \left(\frac{1}{r} \frac{\partial u_\theta}{\partial \theta} + \frac{u_r}{r} \right) + \frac{\partial \mu}{\partial z} \left(\frac{\partial u_\theta}{\partial z} + \frac{1}{r} \frac{\partial u_z}{\partial \theta} \right) + \frac{\varepsilon_{kk}}{r} \frac{\partial \lambda}{\partial \theta} - \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial \theta} [(3\lambda + 2\mu) \alpha_T (T - T_0)] + F_\theta = 0, \quad (2)$$

$$\mu \nabla^2 u_z + (\lambda + \mu) \frac{\partial \varepsilon_{kk}}{\partial z} + \frac{\partial \mu}{\partial r} \left(\frac{\partial u_z}{\partial r} + \frac{\partial u_r}{\partial z} \right) + \frac{1}{r} \frac{\partial \mu}{\partial \theta} \left(\frac{\partial u_\theta}{\partial z} + \frac{1}{r} \frac{\partial u_z}{\partial \theta} \right) + 2 \frac{\partial \mu}{\partial z} \frac{\partial u_z}{\partial z} + \varepsilon_{kk} \frac{\partial \lambda}{\partial z} - \frac{\partial}{\partial z} [(3\lambda + 2\mu) \alpha_T (T - T_0)] + F_z = 0. \quad (3)$$

Тут λ і μ – параметри Ламе, u_r , u_θ , u_z переміщення в напрямку відповідних змінних r , θ , z , T_0 – початкове значення температури, T – її поточне значення.

Наведемо також рівняння теплопровідності

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial T}{\partial t} \right) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 T}{\partial \theta^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} = \frac{1}{a} \frac{\partial T}{\partial t}. \quad (4)$$

Граничні умови для функцій, які описують деформовані покриття, задавались в формі вільних поверхонь на верхній і бічних поверхнях, внизу конструкція зв'язана з ґрунтовим масивом. При розв'язанні вважалось, що на верхній вільній поверхні покриття температура змінювалась за заданим законом і розв'язувалось рівняння теплопровідності (4).

За знайденими функціями температури T і переміщень u_r , u_θ , u_z за допомогою формул

$$\begin{aligned}\sigma_r &= 2\mu\varepsilon_r + \lambda\varepsilon_{kk} - (3\lambda + 2\mu)\alpha_T(T - T_0); \\ \sigma_\theta &= 2\mu\varepsilon_\theta + \lambda\varepsilon_{kk} - (3\lambda + 2\mu)\alpha_T(T - T_0); \\ \sigma_z &= 2\mu\varepsilon_z + \lambda\varepsilon_{kk} - (3\lambda + 2\mu)\alpha_T(T - T_0); \\ \sigma_{r\theta} &= 2\mu\varepsilon_{r\theta}; \sigma_{rz} = 2\mu\varepsilon_{rz}; \sigma_{z\theta} = 2\mu\varepsilon_{z\theta}\end{aligned}\quad (5)$$

(де $\varepsilon_{kk} = \varepsilon_r + \varepsilon_\theta + \varepsilon_z = \frac{\partial u_r}{\partial r} + \frac{1}{r}\left(\frac{\partial u_\theta}{\partial \theta} + u_r\right) + \frac{\partial u_z}{\partial z}$) визначаються всі

напруження у всіх елементах системи.

3. Температурні деформації шаруватих покриттів на криволінійних ділянках. Розв'язання рівнянь термопружного деформування (1) – (3) виконувалися методом скінченного елемента [1-3, 5, 8]. В процесі моделювання перший шар розбивався на 10 скінченних елементів за товщиною, другий шар – на 20 елементів, третій – на 40 елементів і четвертий – на 40 елементів.

Розв'язання рівнянь теплопровідності [4,6], виконано методом скінченних елементів для прямолінійного дорожнього покриття [4, 11, 12]. Матеріали шарів, їх товщини і механічні властивості обрані наступними: шар 1 – асфальтобетон дрібнозернистий, $h = 0,05$ м, $E = 5 \cdot 10^9$ Па, $\nu = 0,2$; шар 2 – асфальтобетон пористий крупнозернистий, $h = 0,1$ м, $E = 1,4 \cdot 10^9$ Па, $\nu = 0,25$; шар 3 – щебінь, $h = 0,2$ м, $E = 0,4 \cdot 10^9$ Па, $\nu = 0,3$; шар 4 – пісок, $h = 0,2$ м, $E = 0,1 \cdot 10^9$ Па, $\nu = 0,3$; ґрунт – $h = 2,5$ м, $E = 0,1 \cdot 10^9$ Па, $\nu = 0,35$.

Показано, що функція температури $T(y)$ має вигляд крайового ефекту. Розподіл цієї функції, здебільшого, реалізується в границях першого і рідше, в границях першого і другого шарів, причому вона має вигляд майже прямої лінії. Оскільки нас цікавить тут головним чином явище розшарування, приймемо, що температура на поверхні першого шару рівна $T = -20^\circ\text{C}$ і далі поширюється лінійно в границях першого або першого і другого шарів. Далі методом скінченних елементів підраховуються за допомогою формул (1) – (3) переміщення у всіх елементах і з допомогою формул (5) обчислюються всі напруження. Оскільки, як і в інших випадках, функції температури швидко змінюються за товщиною (за координатою r), то поля напружень відрізняються великою нерівномірністю і великими значеннями.

При цьому найбільший інтерес представляють види функцій напружень на поверхнях контакту між першим і другим шарами, оскільки саме на них досягаються найбільші значення градієнтів функції температури і саме на них відбувається розшарування конструкції.

На рис. 3 показані графіки функцій $\sigma_r(l)$, $\sigma_\theta(l)$, $\sigma_z(l)$, $\sigma_{r\theta}(l)$ в залежності від змінної $R \cdot \theta = l$ для випадку $R = 974,5$ м, $L = 39$ м при різниці висот в центрі і на кінцях $H = 0,18$ м в тілі першого шару на поверхні

контакту першого шару з другим. Цей випадок відповідає найменшій кривизні дороги, проте вже і тут можна відзначити деякі особливості, які притаманні криволінійній дорозі. По-перше, різкіше проявляються властивості концентрації всіх напружень в зонах, які прилягають до кінців дороги. Причому, якщо для прямолінійних доріг нормальні до поверхні контакту напруження σ_y дуже малі (практично рівні нулю), то тут нормальні напруження σ_r більш помітні. Причому вони відмінні від нуля не тільки в прикорайовій зоні і тому разом з суттєвими дотичними напруженням $\tau_{r\theta}$ (рис. 3 (г)) сприяють розшаруванню конструкції.

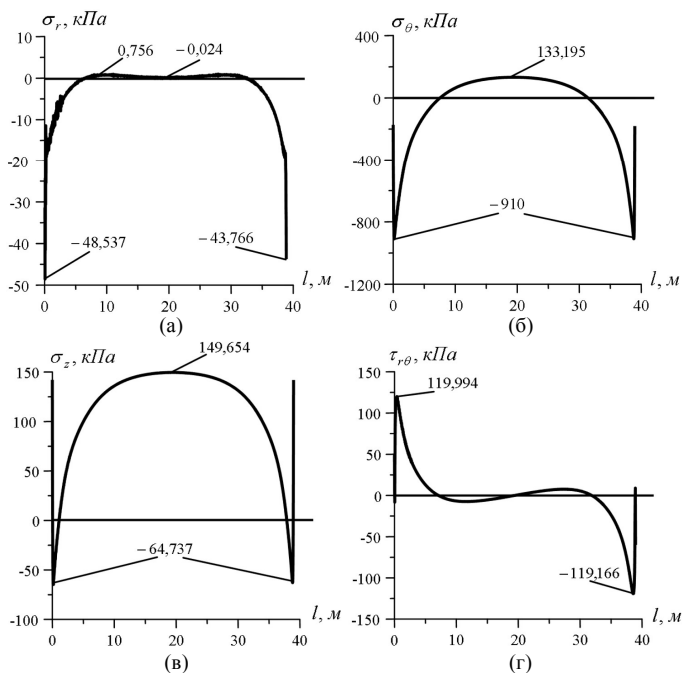


Рис. 3. Графіки функцій σ_r (а), σ_θ (б), σ_z (в) і $\tau_{r\theta}$ (г) в тілі першого шару на поверхні його контакту з другим шаром (випадок $R=974,5$ м, $L=39$ м, $H=0,18$ м)

Результати розв'язання, які представлені на рис. 4, відображають характер розподілу нормальних напружень у вертикальному перерізі дороги в її центральній частині, коли температура змінювалася від -20°C на верхній поверхні і вниз лінійно до нуля площини контакту другого і третього шарів. Дотичні напруження в цьому перерізі дорівнюють нулю в силу умов симетрії. Як видно, в даному випадку виникли, хоча і невеликі, радіальні напруження, які сприяють розшаруванню конструкції.

Результати розрахунків для дорожнього покриття великої кривизни ($R=189,5$ м, $L=39$ м, $H=0,94$ м) при лінійному розподілі в границях тільки першого шару (починаючи з -20°C) представлені на рис. 5.

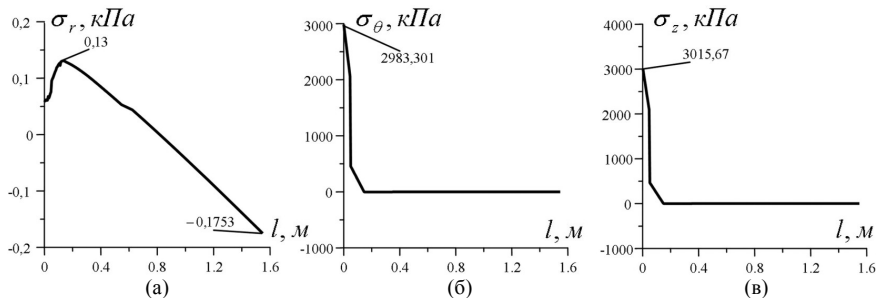


Рис. 4. Графіки функцій $\sigma_r(r)$, $\sigma_\theta(r)$, $\sigma_z(r)$ в залежності від радіальної координати r в центральному вертикальному перерізі дороги (випадок $R=974,5$ м, $L=39$ м, $H=0,18$ м)

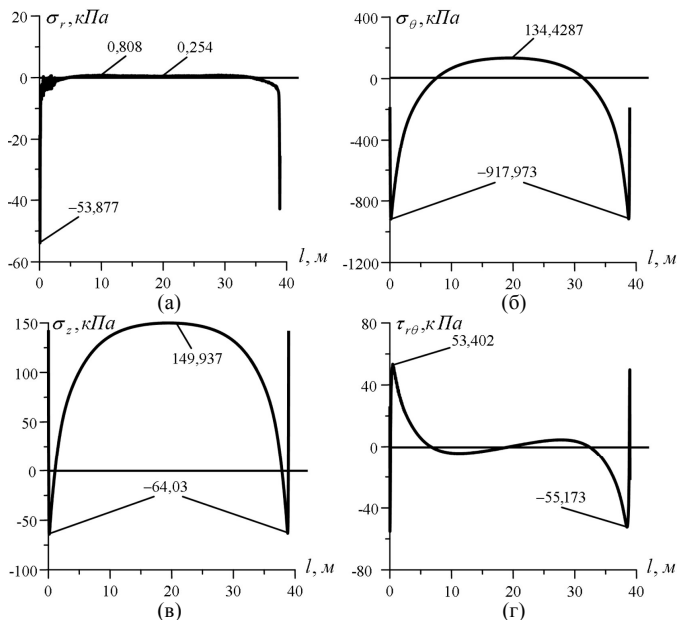


Рис. 5. Графіки функцій σ_r (а), σ_θ (б), σ_z (в) і $\tau_{r\theta}$ (г) в тілі першого шару на поверхні його контакту з другим (випадок $R=189,5$ м, $L=39$ м, $H=0,94$ м)

Як видно, із збільшенням кривизни відбулася деяка несуттєва перебудова всіх функцій напружень. Це можна пояснити тим, що ці функції побудовані на поверхні контакту першого і другого шарів, на якій знає розрив функція модуля пружності E контактуючих матеріалів. Тому тут всі функції напружень є швидко змінними за вертикаллю (за змінною r). Однак стало помітно, що збільшене значення нормального розтягуючого напруження $\sigma_r > 700$ Н стало переважати по всій довжині дороги, приводячи тим самим до великої ймовірності відриву першого шару від другого.

На рис. 6 показані функції розподілу напружень в центральному вертикальному перерізі конструкції для цього випадку, але при умові, що температура змінюється за лінійним законом в двох верхніх шарах конструкції. Як видно, тут напруження помітно збільшились.

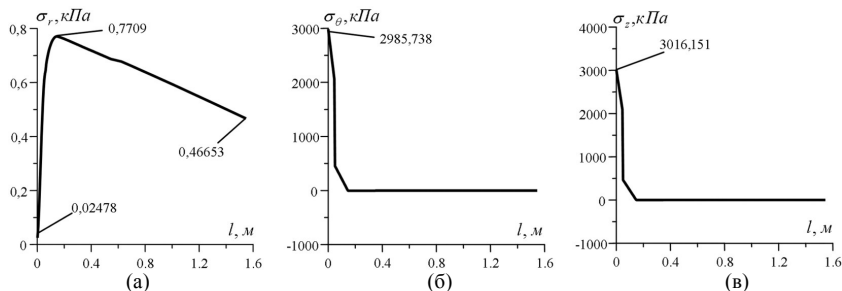


Рис. 6. Графіки функцій $\sigma_r(r)$, $\sigma_\theta(r)$, $\sigma_z(r)$ в залежності від радіальної координати r в центральному вертикальному перерізі дороги (випадок $R=189,5$ м, $L=39$ м, $H=0,94$ м, температура лінійно змінюється в границях двох верхніх шарів)

Рис. 7 відповідає випадку $R=97,5$ м, $L=39$ м, $H=1,9$ м. Тут температура лінійно розподіляється за товщиною в границях першого шару. Можна бачити, що помітно зросли напруження σ_r (а) і $\tau_{r\theta}$ (г), які відповідають за розшарування конструкції і відрив першого шару від другого, що відбувається (як і в інших випадках) в кінцевих зонах дороги.

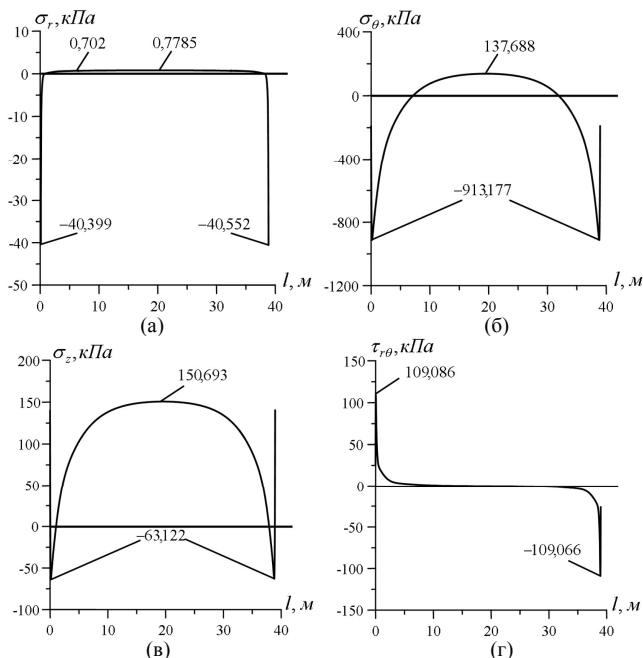


Рис. 7. Графіки функцій σ_r (а), σ_θ (б), σ_z (в) і $\tau_{r\theta}$ (г) в тілі першого шару на поверхні його контакту з другим (випадок $R=97,5$ м, $L=39$ м, $H=1,89$ м)

Якщо дорога прямолінійна і має лінійну довжину $L=15$ м, то функції розподілу нормальних і дотичних напружень відчують суттєві перебудови і зміни своїх значень. На рис. 8 представлені графіки нормальних до поверхні дороги напружень σ_x (а) і τ_{xy} (б) для випадку $L=15$ м, коли температура лінійно змінювалася в границях першого і другого шарів. Аналіз цих результатів дозволяє зробити висновок, що для розглянутої системи дотичні напруження суттєво зросли, однак вертикальне напруження при цьому виявилось практично рівним нулю (крім крайових зон), зменшивши ймовірність розшарування системи порівняно з випадком криволінійної дороги.

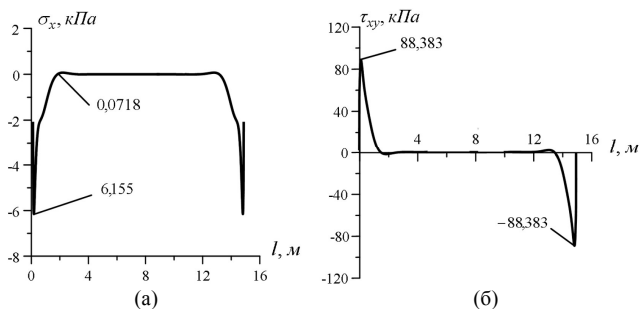


Рис. 8. Графіки функцій σ_x (а) і τ_{xy} (б) в тілі першого шару на поверхні контакту з другим шаром (прямолінійна дорога, $L=15$ м, температура лінійно змінюється в границях першого і другого шарів)

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Гайдайчук В.В. Моделювання напружено-деформованого стану конструкції дорожнього одягу під дією транспортних навантажень / В.В. Гайдайчук, В.В. Мозговий, Ю.О. Заєць, Л.В. Шевчук // Опір матеріалів і теорія споруд. – 2017. – Вип. 99 – С.45 – 57.
2. Гуляєв В.І. Дослідження термонапруженого стану конструкцій дорожнього одягу / В.І.Гуляєв, В.В.Гайдайчук, В.В. Мозговий, Ю.О.Заєць, Л.В. Шевчук // Промислове будівництво та інженерні споруди. – 2017. - №1. – С. 6 – 12.
3. Гуляєв В.І. Сезонний перерозподіл полів напружень в конструкціях шаруватих покриттів доріг під дією транспортних навантажень / В.І.Гуляєв, Л.В. Шевчук, О.М. Куцман // Вісник Національного транспортного університету. — 2018. — Вип. 40. — С. 98 – 105.
4. Коваленко А.Д. Основы термоупругости. / А.Д. Коваленко – Киев: Наукова Думка, 1970. – 239 с.
5. Механика горных выработок при действии гравитационных и динамических нагрузок: монография / [В. И. Гуляев, П. З. Кошель, Ю. А. Заец и др.]. – Ивано-Франковск: Изд-во Прикарпат. нац. ун-та им. В. Стефаника, 2014. – 438 с.
6. Новацкий В. Динамические задачи термоупругости. / В. Новацкий. – М.: Мир, 1970. – 256 с.
7. Перельмутер А.В. О влиянии изменения жесткостей на перераспределение усилий в статически неопределимой системе / А.В. Перельмутер // Строительная механика и расчет сооружений. – 1974. – № 5. – С. 64-67.
8. Перельмутер А. В. Расчетные модели сооружений и возможность их анализа. / А. В. Перельмутер, В.И Сливнер - М.: ДМК Пресс, 2007. - 600 с.
9. Krishnan J.M. Review of the uses and modeling of bitumen from ancient to modern times. American society of mechanical engineers. / J.M. Krishnan, K.R. Rajagopal // Appl Mech Rev. – 2003. - 56(2). – P. 149–214.
10. Litton R.L., Tsai F.L., Lee S.I., Luo R., Hu S., Zhou F. «Models for Predicting Reflection Cracking of Hot-Mix Asphalt Overlays» Research Report 669, Texas Transportation Institute, Texas A&M University, College Station, Texas, 2010. P.61.

11. Radovskiy B., Teltayev B. Viscoelastic Properties of Asphalts Based on Penetration and Softening Point. Monograph. - Springer Nature, Switzerland, 2017. – 107 p.
12. Yoder E.J. Principles of pavement design. – New York. John Wiley & sons, INC. London. Chapman & Hall, Ltd.

REFERENCES

1. Gaydaychuk V.V., Mozgoviy V.V., Zaets Yu. A., Shevchuk L.V. Modeliuvannya napruzhenodeformovanoho stanu konstrukttsii dorozhnogo odiahu pid dieiui transportnykh navantazhen (Simulation of the stress-strain state of the construction of road overlay under the influence of transport loads) // Opir materialiv i teorii sporud – 2017. – V. 99, p. 45-57.
2. Gulyayev V. I., Gaydaychuk V.V., Mozgoviy V.V., Zaets Yu. A., Shevchuk L.V. Doslidzhennia termonapruzhenoho stanu konstrukttsii dorozhnogo odiahu (Investigation of the thermo-stressed state of road overlay structures) // Promyslove budivnytstvo ta inzhenerni sporudy – 2017. – No1, p. 6-12.
3. Gulyayev V. I., Shevchuk L.V., Kutsman O. M. Sezonnii pererozpodil poliv napruzhen v konstrukttsiakh sharuvatykh pokryttiv dorih pid dieiui transportnykh navantazhen (Seasonal redistribution of stress fields in structures of layered pavements of roads under the influence of transport loads) // Visnyk Natsionalnogo transportnogo universytetu – 2018. – V. 40, p. 98-105.
4. Kovalenko A.D. Osnovy termouprugosti (Fundamentals of Thermoelasticity). Kyiv: Naukova Dumka, 1970. – 239 P.
5. Gulyayev V. I., Koshel P. Z., Zaets Yu. A. Mehanika gorniy vyirabotok pri deystvii gravitatsionnykh i dinamicheskikh nagruzok: monografiya (Mechanics of mine cavities under the action of gravitational and dynamic loads). Yvano-Frankovsk: Prykarp. nats. un-ta ym. V. Stefanyka, 2014. – 438 P.
6. Novatskiy V. Dinamicheskie zadachi termouprugosti (Dynamic problems of thermoelasticity). Moskva: Mir, 1970. – 256 P.
7. Perelmuter A.V. O vliyaniy izmeneniya zhestokostey na pereraspredelenie usilyi v staticheski neopredelimoj sisteme (On the effect of stiffness changes on the redistribution of efforts in a statically indeterminate system) // Stroitelnaia mekhanika i raschet sooruzhenii – 1974. – No 5, p. 64-67.
8. Perelmuter, A.V., Slyvner, V.Y Raschetnyie medeli sooruzheniy i vozmozhnost ih analiza (Design models of structures and the possibility of their analysis). Moskva: DMK Press, 2007. – 600 P.
9. Krishnan J.M. Review of the uses and modeling of bitumen from ancient to modern times. American society of mechanical engineers. / J.M. Krishnan, K.R. Rajagopal // Appl Mech Rev. – 2003. - 56(2). – P. 149–214.
10. Litton R.L., Tsai F.L., Lee S.L., Luo R., Hu S., Zhou F. «Models for Predicting Reflection Cracking of Hot-Mix Asphalt Overlays» Research Report 669, Texas Transportation Institute, Texas A&M University, College Station, Texas, 2010. P.61.
11. Radovskiy B., Teltayev B. Viscoelastic Properties of Asphalts Based on Penetration and Softening Point. Monograph. - Springer Nature, Switzerland, 2017. – 107 p.
12. Yoder E.J. Principles of pavement design. – New York. John Wiley & sons, INC. London. Chapman & Hall, Ltd.

Стаття надійшла до редакції 18.03.2019 р.

Gaidaichuk V.V., Gustieliev O.O., Radkevich A.V., Shevchuk L.V., Shlyun, N.V.

THERMAL ELASTIC DEFORMATION OF THE LAYERED COVERING ON THE CONCAVE PART OF A ROAD

The problem on numerical investigation of thermo-elastic deformation of a layered coating on the concave and rectilinear road parts is stated. The constitutive equations are formulated, their finite-element analogues are constructed. The load versions at different values of geometric, structural, and temperature parameters are taken into account.

The influence of the door curvature on redistribution of the stress fields under action of thermal perturbations are analysed. As in a uniform heating (or cooling) the curvilinear layers change their lengths in different manure, then it can be supposed that even under small concentration in all direction of the road body are exhibited. At that, for the rectilinear segments of the roads, the stress, normal to the road surface, practically are equal to zero. With the curvature enlargement, the

enlargement of tensile normal stress throughout the road length is observed. This lead to enlargement of the probability of the breakaway of the first layer from the second one.

It is shown by numerous calculations that the peak values of the longitudinal ensile forces in the top layer and shear forces localized between the first and second layers can be a cause of the initial road destruction observed in practice and formation of transversal cracks.

Keywords: automobile road, road coating structure, transport loads, stress field, thermo elastic state.

Гайдайчук В.В., Густелев А.А., Радкевич А.В., Шевчук Л.В., Шлюнь Н.В.

ТЕРМОУПРУГОЕ ДЕФОРМИРОВАНИЕ СЛОИСТОГО ПОКРЫТИЯ НА ВОГНУТОМ УЧАСТКЕ ДОРОГИ

Поставлена задача о численном исследовании термоупругого деформирования покрытия на вогнутом и прямолинейном участках дороги. Сформулированы разрешающиеся уравнения, построены их конечно-элементные аналоги. Рассмотрены случаи нагрузок при различных значениях геометрических, конструктивных и температурных параметров.

Проанализировано влияние искривления дороги на перераспределение полей напряжений при воздействии температурных возмущений. Поскольку при равномерном нагреве (охлаждении) криволинейные слои удлиняются по-разному, то можно сделать вывод, что даже при малейшем изгибе дороги проявляются свойства концентрации всех напряжений в зонах, прилегающих к концам дороги. Причем, для прямолинейных дорог нормальные к поверхности контакта напряжения практически равны нулю.

Ключевые слова: автомобильная дорога, дорожное покрытие, транспортные нагрузки, поле напряжений, термонапряженное состояние.

УДК 539.3

Гайдайчук В.В., Густелев О.О., Радкевич А.В., Шевчук Л.В., Шлюнь Н.В. **Термопружне деформування шароватого покриття на вгнутій ділянці дороги** // Опір матеріалів і теорія споруд: наук.-тех. збірник. – К.: КНУБА, 2019. – Вип. 102. – С. 180-190.

Поставлена задача про чисельне дослідження термопружного деформування шароватого покриття дороги на її вгнутих та прямолінійних ділянках.

Іл. 8. Бібліогр. 12 назв.

UDC 539.3

Gaidaychuk V.V., Gusteliev O.O., Radkevich A.V., Shevchuk L.V., Shlyun N.V. **Thermal elastic deformation of the layered covering on the concave part of a road** // Strength of Materials and Theory of Structures: Scientific-and-technical collected articles – Kyiv: KNUBA, 2019. – Issue 102. – P. 180-190.

The problem on numerical investigation of thermo-elastic deformation of a layered coating on the concave and rectilinear road parts is stated.

Fig. 8. References 12 items.

Гайдайчук В.В., Густелев А.А., Радкевич А.В., Шевчук Л.В., Шлюнь Н.В. **Термоупругое деформирование слоистого покрытия на вогнутом участке дороги** // Сопротивление материалов и теория сооружений. – К.: КНУБА, 2019. – Вып. 102. – С. 180-190.

Поставлена задача о численном исследовании термоупругого деформирования покрытия на вогнутом и прямолинейном участках дороги.

Іл. 8. Библиогр. 12 назв.

Автор (науковий ступінь, вчене звання, посада): доктор технічних наук, завідувач кафедри теоретичної механіки КНУБА ГАЙДАЙЧУК Віктор Васильович.

Адреса робоча: 03680 Україна, м. Київ, Повітрофлотський проспект 31, КНУБА, кафедра теоретичної механіки, Гайдайчуку Віктору Васильовичу.

Адреса домашня: Україна, м. Київ, вул. Миколи Закревського, 27/2, кв. 64.

Робочий тел.: +38(044) 241-55-36;

Мобільний тел.: +38(097) 542-94-27;

E-mail: viktor_gaydaychuk@bigmir.net

ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-2059-7433>

Автор (вчена ступень, вчене звання, посада): генеральний директор, ГУСТЄЛЄВ Олександр Олександрович.

Адреса робоча: 01014, м. Київ, вул. Петра Болбочана, 6, Комунальна корпорація «Київавтодор», ГУСТЄЛЄВУ Олександр Олександровичу.

Робочий тел.: +380 (44) 285 03 36.

Мобільний тел.: +380 (67) 640 00 05.

E-mail: gustelev_pao@ukr.net

ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-8257-358X>

Автор (науковий ступінь, вчене звання, посада): доктор технічних наук, професор, проректор з науково-педагогічної, економічної, інноваційної та перспективної діяльності ДНУЗТ, РАДКЕВИЧ Анатолій Валентинович.

Адреса робоча: 49010 Україна, м. Дніпро, вул. Лазаряна 2, ДНУЗТ, Радкевичу Анатолію Валентиновичу.

Робочий тел.: +38(098) 307-81-44.

Мобільний тел.: +38(095) 889-34-80.

Автор (вчена ступень, вчене звання, посада): кандидат технічних наук, асистент кафедри вищої математики, ШЕВЧУК Людмила Володимирівна.

Адреса робоча: 01103 Україна, м. Київ, вул. М. Бойчука 42, Національний транспортний університет, ШЕВЧУК Людмилі Володимирівні.

Робочий тел.: +38(044) 284-71-09.

Мобільний тел.: +38(066) 715-36-33.

E-mail: ludmilashevchuk25@gmail.com

ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-5748-9527>

Автор (вчена ступень, вчене звання, посада): кандидат технічних наук, асистент кафедри вищої математики, ШЛЮНЬ Наталія Володимирівна.

Адреса робоча: 01103 Україна, м. Київ, вул. М. Бойчука 42, Національний транспортний університет, ШЛЮНЬ Наталії Володимирівні.

Робочий тел.: +38(044) 284-71-09.

Мобільний тел.: +38(097) 593-63-46.

E-mail: nataliyashlyun@gmail.com

ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-1040-8870>