

УДК 539.3
UDC 539.3

ПРО МЕХАНИЗМ ТЕРМОПРУЖНОГО РОЗШАРУВАННЯ ДОРОЖНІХ ПОКРИТТІВ ПРИ ДОБОВИХ ЗМІНАХ В НИХ ПОЛІВ ТЕМПЕРАТУРИ

Заєць Ю.О., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, yuzaets@gmail.com, orcid.org/0000-0003-1836-2010

ON MECHANISM OF THERMOELASTIC DELAMINATION OF ROAD COATING UNDER DAILY CHANGE OF TEMPERATURE FIELDS

Zaiets Yu.O., Ph.D., National Transport University, Kyiv, Ukraine, yuzaets@gmail.com, orcid.org/0000-0003-1836-2010

О МЕХАНИЗМЕ ТЕРМОУПРУГОГО РАССЛОЕНИЯ ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ ПРИ СУТОЧНЫХ ИЗМЕНЕНИЯХ В НИХ ПОЛЕЙ ТЕМПЕРАТУРЫ

Заец Ю.А., кандидат технических наук, Национальный транспортный университет, Киев, Украина, yuzaets@gmail.com, orcid.org/0000-0002-5748-9527

У механіці суцільних деформівних середовищ найбільш складні і цікаві проблеми виникають при аналізі полів переміщень, деформацій і напружень в неоднорідних системах. При цьому розрізняють випадки, коли фізико-механічні властивості середовища змінюються неперервним чином за просторовими координатами і, коли вони описуються розривними функціями. Перші середовища зазвичай називаються градієнтно неоднорідними, найбільш поширеним типом других систем є шарувато-неоднорідні середовища. Прикладами шарувато-неоднорідних середовищ можуть бути, як природні тектонічні шаруваті структури земних порід, так і штучно створювані шарувато-неоднорідні композиційні матеріали. В останні десятиліття методи проектування і теоретичного аналізу властивостей цих матеріалів, а також технології їх виготовлення, отримали значний розвиток і ці матеріали почали більш широко застосовуватися в багатьох областях техніки. Ця обставина в першу чергу пов'язана з тим, що підбір фізико-механічних властивостей компонент композиційного матеріалу і його конструкцією можна регулювати і керувати властивостями всього масиву в заданих напрямках. Завдяки цьому, до теперішнього часу вдалося створити абсолютно нові матеріали з високими параметрами міцності, жорсткості, термостійкості, зносостійкості термоізоляції, звукоізоляції та ін. при малій матеріалоемності і шаруватості.

Необхідно підкреслити, однак, що не може бути створений універсальний композиційний матеріал, який задовольняє одночасно багатьом вимогам його застосування при різних видах механічного і фізичного впливу. Тому на практиці композиційні матеріали проектують з урахуванням їх призначення, умов застосування і видів фізичного і механічного впливу, звертаючи увагу на тип навантаження (статичне, динамічне, розподілене, зосереджене, розтягу, стиску, зсувну та ін.), характер розподілу полів температури, зміну властивостей матеріалу при зовнішніх впливах, середовище застосування (підвищена - знижена температура, вологість, хімічна агресивність) та ін.

Мабуть, такі ж вимоги і аналогічні підходи повинні бути використані і при проектуванні багатошарових конструкцій дорожнього одягу, оскільки їх експлуатаційні властивості також залежать від великого числа конструктивних і термореологічних параметрів, а також зовнішніх силових і теплових впливів, що змінюються. В зв'язку з тим, що глобальний аналіз і облік всіх цих параметрів при проектуванні дорожнього одягу в даний час навряд чи можна здійснити, представляє інтерес встановлення окремих закономірностей протікання в них фізико-механічних процесів і використовувати їх в проектній практиці в залежності від призначення системи. В даній роботі виконана спроба комп'ютерного моделювання можливого ефекту розшарування конструкції дорожнього покриття в результаті його термопружного деформування під дією добово змінних в них полів температури.

У науковій літературі проблемам теоретичного дослідження міцності та довговічності дорожніх покриттів присвячена значна кількість публікацій. В результаті аналізу літературних джерел, встановлено, що в основному вони торкаються питань міцності цих конструкцій під дією транспортних навантажень, водночас як дослідженню їх термонапружених станів приділено набагато

менше уваги. Ймовірно, найбільш повно проблеми впливу температурних чинників на міцність асфальтобетонних покриттів висвітлені в оглядовому звіті групи авторів Litton R.L., Tsai F.L., Lee S.I., Luo R., Hu S., Zhou F. [10]. Однак і в ній аналіз теплового поля в конструкціях доріг зводиться до одновимірної задачі побудови температури у вертикальному напрямі і практично не вивчається вплив неоднорідності конструкції дороги на термонапружений стан системи.

Варто зазначити, що у загальному випадку дорожнє покриття є складною багатошаровою конструкцією, кожний шар якої має відповідні термомеханічні властивості матеріалу. За цих умов значно ускладнюються поля температурних деформацій в системі та проблеми теоретичного моделювання її термонапруженого стану.

У зв'язку з цим задача аналізу термонапруженого стану дорожнього одягу під дією теплових збурень в умовах добових та сезонних змін навколишнього середовища повинна бути сформульована та розв'язана з врахуванням нестационарних математичних моделей теплопровідності та пружності (пластичності). Основи цієї теорії висвітлені в монографії А.Д. Коваленка [6] і В. Новацького [7, 8].

Як показано в роботах Г.І. Шишкіна [9, 11], зазначені проблеми є сингулярно збуреними і тому їх розв'язки повинні мати вигляд крайових із сплесками значень температури у вузьких прикордонних зонах та мають значні градієнти. Тому розв'язок таких задач пов'язаний зі значними труднощами під час обчислень. 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 термомеханічних навантажень.

Основною особливістю задач аналізу термонапруженого стану конструкцій доріг є їх багатопараметричність. Перш за все конструкції дорожніх покриттів істотно неоднорідні. Механічні моделі конструкцій доріг є багатошаровими структурами, укладеними на ґрунтову основу. Нижні шари структури сформовані з піску і щебеню, верхні з асфальтобетону, параметри пружності яких змінюються за заданим законом в залежності від добових і сезонних змін їх температури [1, 2, 4, 5].

Аналіз термонапруженого стану конструкції дороги реалізувався з припущення, що температура навколишнього середовища змінюється за заданим законом, в зв'язку з чим еволюціонують також і поля температури в конструкції дороги. Тому для моделювання цих полів використовується рівняння нестационарної теплопровідності [3, 5]

$$\nabla^2 T - \frac{1}{a} \frac{\partial T}{\partial t} = 0 \quad (1)$$

де $T(x, y, z, t)$ - функція температури; $a = \frac{\lambda_q}{c_{об}}$ - коефіцієнт теплопровідності; λ_q - коефіцієнт теплопровідності; $c_{об}$ - питома об'ємна теплоємність.

При розглянутих швидкостях зміни полів температури в конструкції дороги можна вважати, що процеси термопружного деформування системи є квазістатичними і для їх опису доречно використати векторне рівняння стаціонарної термопружності [3, 5].

$$\mu \nabla^2 \mathbf{u} + (\lambda + \mu) \text{grad} \text{div} \mathbf{u} - (3\lambda + 2\mu) \alpha_T \text{grad} T = 0, \quad (2)$$

де $\mathbf{u}(x, y, z)$ - вектор пружних переміщень пружного середовища; λ і μ ізотермічні параметри Ляме; α_T - коефіцієнт теплового лінійного розширення. Функція температури з рівняння (2) задавалася, виходячи з розв'язку рівняння (1) в обрані моменти часу.

Моделювання теплового збурення найпростіше здійснювати, задаючи температуру $T(x, 0, z, t)$ елементів першого шару на його вільній поверхні $y = 0$. Таке формулювання граничної умови на краю $y = 0$ є найбільш зручним при постановці крайової задачі для рівняння (1) і найбільш простим для його задання, виходячи з натурних і експериментальних вимірювань. Для встановлення загальних закономірностей термопружного деформування конструкції дорожнього покриття приймемо, що в початковому стані при $t = 0$ температура у всіх елементах системи однакова: $T(x, y, z, 0) = 0$. Влітку протягом дня $0 \leq t \leq 12 \text{ год}$ (або $0 \leq t \leq 43200 \text{ с}$) температура на краю $y = 0$ змінюється за законом (рис. 2а).

$$T(x, 0, z, t) = T_{\max} \sin(\pi t / 43200), \quad (3)$$

де $T_{\max} > 0$ - максимальне значення вимірної температури.

Взимку в нічний час $0 \leq t \leq 43200$ с її значення становить (рис. 2б)

$$T(x, 0, z, t) = T_{\min} \sin(\pi / 43200), \quad (4)$$

де $T_{\min} < 0$ - мінімальне значення $T(t)$.

Для функції переміщень u на верхній вільній поверхні задавалися умови рівності нулю нормальних і дотичних напружень, на нижній площині $y = 2,5$ м - умови рівності нулю переміщень u_y і дотичних напружень τ_{xy} .

Поставлені задачі нестационарної теплопровідності та стаціонарного термопружного деформування в обрані моменти часу розв'язувалися в постановці плоскої деформації методом скінченних елементів. Для цього здійснюється перехід від рівнянь (1), (2) до їх скінченно-елементних моделей

$$[K_T]\{T\} - [A]\{T\} = \{T_f(t)\}, \quad (5)$$

$$[K_u]\{u\} = [L]\{T(t_i)\}. \quad (6)$$

Тут $[K_T]$ матриця коефіцієнтів скінченно-елементної моделі рівняння теплопровідності;

$[A]$ - матриця коефіцієнтів моделі похідної від $[T]$ за часом t , побудованої на основі неявної скінченно-різницевої схеми інтегрування рівняння (1) за часом;

$\{T_f(t)\}$ - вектор заданих в вузлах значень температури T на поверхні покриття;

$[K_u]$ - матриця жорсткості для скінченно-елементної моделі конструкції;

$[L]$ - матриця, що відображає вплив підрахованої температури на переміщення вузлів системи.

В результаті покрокового за часом розв'язку системи (5) обчислюються поля дискретних значень температури $T(t_k)$ в моменти часу $0 \leq t \leq 43200$ с його покрокової зміни. Після цього за знайденим $T(t_i)$ за допомогою рівнянь (6) обчислюються значення компонент вектора $u(t_i)$ вузлових переміщень в потрібний моменти часу t_i . При цьому матриця жорсткості $[K_u]$ будується з урахуванням значень модуля пружності E в кожному елементі першого і другого шарів, що відповідають новим підрахованим значенням температури. Вони знаходяться шляхом інтерполяції значень E , наведених у таблиці 1. При цьому для забезпечення необхідної точності перший шар розбивався на 10 елементів по товщині, другий - на 20 елементів, третій і четвертий на 40 елементів. При цьому загальне число елементів всієї задачі склало 195028, число вузлів - 294777.

Таблиця 1 – Інтерпольовані значення модуля пружності E

Table 1 – Interpolated values of elasticity module E

№ п/п	Температура ($^{\circ}C$)	Дрібнозернистий бетон E (МПа)	Крупнозернистий бетон E (МПа)
1.	25	2740	966
2.	20	3574	1260
3.	15	6522	2300
4.	10	8114	2861
5.	5	11936	4209
6.	0	12233	4314
7.	-5	14815	5224
8.	-10	16106	5679
9.	-15	19937	7030
10.	-20	24542	8654
11.	-25	27137	9569

Після обчислення значень температури $T(t_i)$ і переміщень $u_x(t_i)$, $u_y(t_i)$ у вузлах моделі здійснюється обробка результатів обчислень. Для цього будуються поля компонент тензорів деформацій ε_{jk} і напружень σ_{jk} . Вони обчислюються за допомогою рівностей [3, 5]

$$\begin{aligned} \varepsilon_{jk} &= (u_{j,k} + u_{k,j})/2 \\ \delta_{jk} &= 2\mu\varepsilon_{jk} + [\lambda\varepsilon_{ii} - (3\lambda + 2\mu)\alpha_T T]\delta_{jk} \end{aligned} \quad (7)$$

перетворених методом скінченно-елементної дискретизації.

При цьому параметрам Ляме λ і μ надаються значення, відповідні змінним значенням модуля пружності E в таблиці 1. В рівностях (7) індекси i, j, k набувають значень 1, 2, 3; при цьому напрямки x_1, x_2, x_3 відповідають напрямкам x, y, z ; $u_{j,k} = \partial u_j / \partial x_k$; $\varepsilon_{ii} = \varepsilon_{11} + \varepsilon_{22} + \varepsilon_{33}$; δ_{jk} - символ Кронекера.

Дотичні напруження в цій зоні утворюються відповідно до відомої в теорії шаруватих композитних матеріалів властивості формування дотичних напружень між двома шарами. Нехай, наприклад, композитний брус довжиною l складається з двох склеєних стрижнів з різними коефіцієнтами теплового лінійного розширення α_1 і α_2 . При його нагріванні на температуру і перший і другий стрижні подовжується на однакову величину Δl_T . Якщо ж ці стрижні роз'єднати і нагріти окремо, то різниця між їх довжинами складатиме $\Delta l = T(\alpha_1 - \alpha_2)$.

Для того, щоб ці стрижні з'єднати в нагрітому стані необхідно до першого і другого стрижня прикласти розподілені дотичні сили τ_{xy} різних знаків за схемою, наведеною на рис. 1б. тому можна зробити висновок, що в складеному нагрітому стрижні (рис. 1а) між стрижнями 1 і 2 діють розподілено дотичні сили, які стискають перший стрижень і розтягують другий з їх максимальними значеннями в центральних перерізах кожної з половинок.

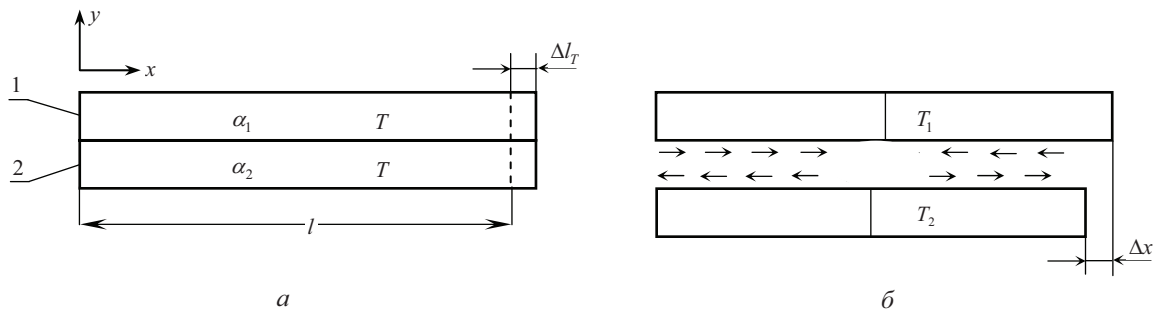


Рисунок 1 - Формування дотичних напружень у двошаровому брусі
Figure 1 – Formation of shear stresses in two-layer beam

Аналогічна ситуація має місце і в складному покритті дороги, яка, до того ж, ускладнюється тим, що всі шари мають різні змінні модулі пружності $E(y)$ і нагріті на різні температури $T(y)$. Тут в центральному $x = 0$ перерізі конструкції дотичні сили τ_{xy} дорівнюють нулю в силу симетрії системи і вони мають найбільші значення у вертикальному перерізі, віддаленому від краю покриття приблизно на чверть його ширини. Пікового значення ця функція досягає на площині з'єднання першого і другого шарів, що взагалі кажучи, сприяє розшаруванню конструкції в цьому місці.

На рис. 2 показаний графік розподілу дотичних зусиль τ_{xy} в перерізі $x = \Delta x$, прилеглому до краю дороги в момент часу $t = 320d$. При цьому температура на поверхні дороги стала рівною $T = 10^0 C$. За цей час встиг прогрітись в основному лише перший шар покриття і функція $T(y)$ набула вигляду крайового ефекту. Графік зміни функції $\tau_{xy}(y)$, що відповідає такому характеру розподілу температури зображений на рис. 2. На рис. 2а представлена кольорова ілюстрація розподілу поля дотичних напружень τ_{xy} по вертикальній осі y в обраному перерізі.

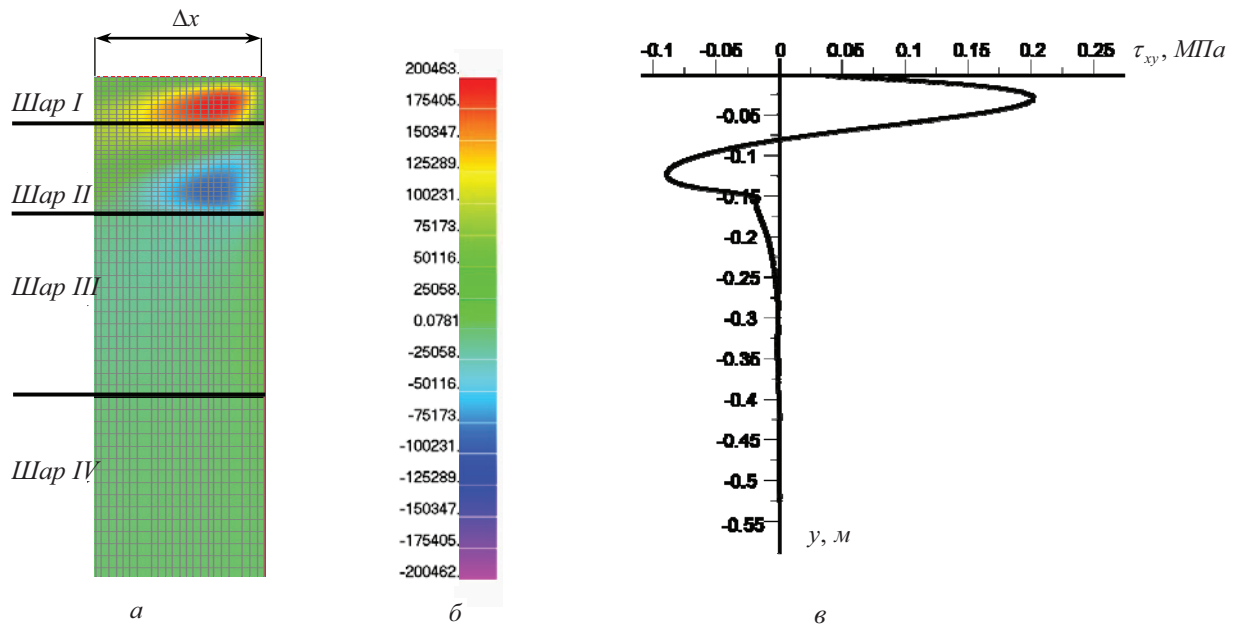


Рисунок 2 – Графіки функцій $\tau_{xy}(y)$ у смузі Δx , прилеглий до краю дороги в момент $t = 3 \text{ год}$
 Figure 2 – Graphics of function $\tau_{xy}(y)$ in layer Δx , adjacent to the road edge at the moment $t = 3 \text{ h}$

Рис. 2б відображає кольорову палітру значень цих напружень. Як видно із графіка функції $\tau_{xy}(y)$ (рис. 2в), найбільшого значення $\tau_{xy}(y)$ набуває на границі першого та другого шарів, що сприяє розшаруванню конструкції вздовж цієї площини.

Варто також зазначити, що в найбільш явній формі цей ефект проявляється в крайових зонах покриття $x = 0$ і $x = L$, де $L = 15 \text{ м}$ - ширина дороги. Для наочності на рис. 3 показано графік зміни функції дотичних напружень $\tau_{xy}(x)$ на площині з'єднання першого та другого шарів.

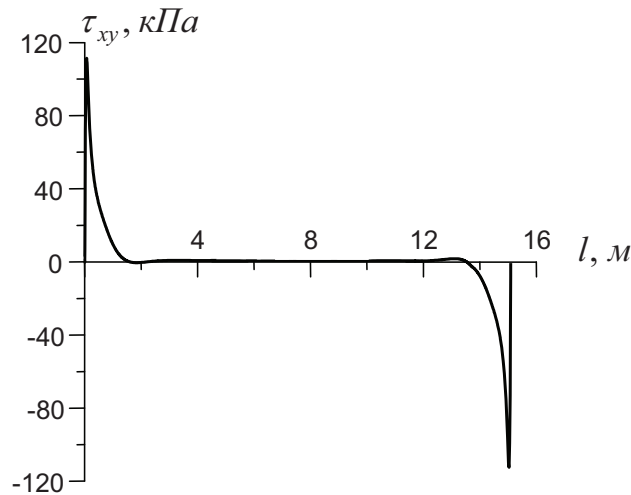


Рисунок 3 – Графік функції τ_{xy} на площині контакту I-го та II-го шарів
 дорожнього покриття шириною 15 м.
 Figure 3 – Graphic of function τ_{xy} in the contact plane between the 1-st and 2-nd
 layers of the road coating with 15 m in width

З нього випливає, що максимальні значення дотичних напружень між першим та другим шаром локалізуються на кінцях дороги, сприяючи тим самим початку розшарування покриття безпосередньо в цих зонах і, з віддаленням від них, дотичні напруження стають майже нульовими.

Однак, якщо ефект розшарування, в результаті виникнення дотичних напружень, вже почався і шари в цій зоні вже відокремились один від одного, то це не означає, що процес розшарування зупинився. Справа в тому, що внаслідок цього відбудеться лише певне зменшення ширини дороги, а її розрахункова схема залишиться без змін. Тому далі в конструкції дороги меншої ширини виникнуть такі ж дотичні напруження у формі крайових ефектів на кінцях нової конструкції з меншою шириною і явище розшарування верхніх шарів буде продовжуватись далі. Для підтвердження цього судження на рис. 4 представлена форма зміни дотичних напружень в тій же площині дороги меншої ширини $L = 7,5$ м при тих же самих температурних впливах.

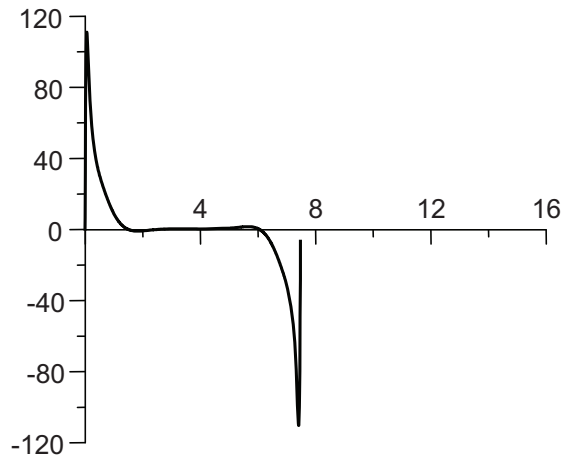


Рисунок 4 – Графік функції τ_{xy} на площині контакту I-го та II-го шарів дорожнього покриття шириною 7,5 м.

Figure 4 – Graphic of function τ_{xy} in the contact plane between the 1-st and 2-nd layers of the road coating with 7,5 m in width

Можна помітити, що в прикорйомих зонах характер зміни τ_{xy} практично не змінився (див. рис. 3 та рис. 4), що свідчить про незмінність схеми розшарування дорожнього покриття під тією термопружними навантаженнями.

Відзначимо, що з подальшим збільшенням температури на поверхнях покриття аж до $T = T_{\max} = 25^{\circ}$ при $t = 6$ год ефект прогрівання поширюється вглиб покриття і нагрітими виявляються також другий і, частково, третій шари, хоча при цьому функція $T(y)$ зберігає вид крайового ефекту з високими значеннями градієнтів.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Баран С.А., Куцман А.М., Мозговой В.В., Онищенко А.Н., Мерзликин А.Е. О влиянии физико-механических процессов на долговечность асфальтобетонного покрытия // Науково-технічний збірник «Будівельні матеріали, вироби та сан. техніка» Київ, 2015. – Вип. 55. – С. 20 – 25.
2. Бахрах Г.С. Влияние расчетных параметров на срок службы дорожной одежды с асфальтобетонным покрытием // Дороги и мосты. – 2009. № 22. – С. 121-136.
3. Богомолов В.О., Жданюк В.К., Богомолов С.В. Щодо критеріїв міцності для дорожніх одягів нежорсткого типу.// Автошляховик України, 2011. –№ 5. – С. 29 – 33
4. Гамеляк І.П., Даценко В.М. Забезпечення надійності конструкції дорожнього одягу за несною здатністю при капітальному ремонті та реконструкції.// Автошляховик України, 2015. –№ 5 (247). – С. 40 - 43
5. Гуляев В.І., Гайдайчук В.В., Мозговой В.В., Заець Ю.О., Шевчук Л.В. Дослідження термонапруженого стану конструкцій дорожнього одягу // Промислове будівництво та інженерні споруди, 2017, №1. – С. 6-12.
6. Коваленко А.Д. Основы термоупругости. – Киев: Наукова Думка, 1970. – 239 с.
7. Новацкий В. Динамические задачи термоупругости. – М.: Мир, 1970. – 256 с.

8. Новацкий В. Теория упругости. – М.: Мир, 1975 – 872 с.
9. Шишкин Г.И. Аппроксимация решений сингулярно возмущенных краевых задач с параболическим пограничным слоем // Журнал вычислительной математики и математической физики. – 1989. – Т.29, № 7. – С.963 – 977.
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. Shishkin G.I. Method of splitting for singularly perturbed parabolic equations // East-West J.Numer. Math. – 1993. – V.1, № 2. – P. 147–163.

REFERENCES

1. Baran, S.A., Kutsman, A.M., Mozghovoi, V.V. & Onyshchenko A.N., Merzlykyn, A.E. (2015). O vlyianny fyzyko-mekhanicheskyykh protsessov na dolgovechnost asfaltobetonnoho pokrytyia [About influence of physical-mechanical processes on longevity of asphalt concrete coatings]. Naukovo-tekhnichnyi zbirnyk «Budivelni materialy, vyroby ta san. tekhnika» - Scientific-technical collection «Building materials, wares, and sanitary equipment», 55, 20-25, [in Ukrainian].
2. Bakhrakh, H.S. (2009). Vlyianyie raschetnykh parametrov na srok sluzhby dorozhnoi odezhdy s asfaltobetonnyim pokrytyem [Influence of calculation parameters on longevity of roads with asphalt-concrete coating]. Dorohy y mosty - Roads and bridges ,22, 121-136, [in Russian].
3. Bohomolov, V.O., Zhdaniuk, V.K., & Bohomolov, S.V. (2011). Shchodo kryteriiv mitsnosti dlia dorozhnikh odiahiv nezhorstkoho typu [On strength criteria for road coatings of nonriding type]. Avtoshliakhovyk Ukrainy – Avto-road maker of the Ukraine,5, 29 – 33, [in Ukrainian].
4. Hameliak I.P., & Datsenko V.M. (2015), Zabezpechennia nadiinosti konstrukttsii dorozhnoho odiahu za nesnoiu zdatsnistiu pry kapitalnomu remonti ta rekonstrukttsii [Reliability provision for road coating structures under conditions of carrying capacity during capital repair and reconstruction]. Avtoshliakhovyk Ukrainy – Avto-road maker of the Ukraine, 5, 40 – 43, [in Ukrainian].
5. Huliaiev, V.I., Haidaichuk, V.V., Mozghovyi, V.V., Zaiets, Yu.O., Shevchuk, L.V. (2017). Doslidzhennia termonapruzhenoho stanu konstrukttsii dorozhnoho odiahu [Analysis of thermo-stressed state of the road coating structures]. Promyslove budivnytstvo ta inzhenerni sporudy - Industrial building and engineering structures, 1, 6-12, [in Ukrainian].
6. Kovalenko, A.D. (1970). Osnovy termouprugosti [Thermoelasticity fundamentals]. Kyiv: Naukova Dumka, [in Russian].
7. Novatskiy, V.(1970). Dinamicheskie zadachi termouprugosti [Dynamical problems of thermoelasticity]. Moskva: Mir [in Russian].
8. Novatskiy V. (1975). Teoriya uprugosti [The elasticity theory]. Moskva: Mir [in Russian].
9. Shishkin G.I. (1989). Approksimatsiya resheniy singulyarno vozmuschennykh kraevykh zadach s parabolicheskimi pogranichnyimi sloem [The solution approximation for singularly perturbed boundary problems with parabolic boundary layer]. Zhurnal vyichislitel'noy matematiki i matematicheskoy fiziki – Journal of computational mathematics and mathematical physics, 29, 7, 963 – 977 [in Russian].
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. Shishkin G.I. Method of splitting for singularly perturbed parabolic equations, East-West J.Numer. Math., 1993., V.1, № 2.,P. 147–163.

РЕФЕРАТ

Заєць Ю.О. Про механізм термопружного розшарування дорожніх покриттів при добових змінах в них полів температури / Ю.О. Заєць // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник – К.: НТУ, 2018. – Вип. 1 (40).

В роботі розглянуто задачу комп'ютерного моделювання нестационарних полів температури і напружень в шарувато-неоднорідних асфальтобетонних покриттях доріг та їх термопружного розшарування.

Об'єкт дослідження – процеси і ресурси, що впливають на міцність і довговічність покриття шаруватого напівпростору протягом життєвого циклу.

Мета даної роботи полягає в розробці методики дослідження термопружних напружень в шарувато-неоднорідних дорожніх покриттях.

Метод дослідження. Використовується скінченно-елементний метод розрахунку полів температури та напружень в шарувато-неоднорідних пружних середовищах.

В даній роботі виконана спроба комп'ютерного моделювання можливого ефекту розшарування шарувато-неоднорідної конструкції дорожнього покриття в результаті його термопружного деформування під дією добових змін в ній полів температури. Застосовуючи до конструкції дорожнього одягу відомі в теорії шаруватих композитних матеріалів властивості формування дотичних напружень між двома шарами, встановлено, що найбільшого значення функція дотичних сил досягає на межі першого та другого шарів конструкції. При цьому її максимальні значення локалізуються на кінцях дороги, що сприяє розшаруванню дорожнього покриття. З'ясовано, що після того як шари відірвались один від одного, процес розшарування не зупиняється, а продовжується й далі на кінцях конструкції, але вже меншої ширини.

Результати статті можуть бути упровадженні в практику проектування і будівництва асфальтобетонних покриттів автомобільних доріг.

Прогнозні припущення щодо розвитку об'єкта дослідження – проведення досліджень в напрямку нелінійного аналізу.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: АВТОМОБІЛЬНА ДОРОГА, АСФАЛЬТОБЕТОННЕ ПОКРИТТЯ ПОЛЕ ТЕМПЕРАТУР, ТЕРМОПРУЖНЕ ДЕФОРМУВАННЯ, ШАРУВАТО-НЕОДНОРІДНИЙ НАПІВПРОСТІР.

ABSTRACT

Zaiets Yu. O. On mechanism of thermoelastic delamination of road coating under daily change of temperature fields. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific and Technical Collection. – Kyiv: National Transport University, 2018. – Issue 1 (40).

In the paper, the problems of computer simulation of nonstationary fields of temperature and stresses in layered nonhomogeneous asphalt concrete road coatings and their thermo-elastic delamination and considered.

The research object is processes and resources, which influence on the strength and durability of the layered semispace overlay during its life cycle.

The research target is to elaborate techniques for analysis of thermo-elastic stresses in layered nonhomogeneous road overlays.

The method of investigation. The finite element method is used for calculation of the temperature and stress fields in the layered nonhomogeneous elastic media.

In the presented paper, the effort of computer simulation of possible delamination, effect in a stratified nonhomogeneous road coating structure is performed. The delamination is supposed to be realized as the result of the system fields of temperature. To analyse formation of shear forces between two upper layers of the road coating, the properties of the shear stresses distribution in stratified composite materials are used. It is established that the maximum values of shear forces are achieved in the plane between the first and second layers. As this takes place the maximum stresses are localized at the road ends, which load to the coating delamination. It is noticed that after the delamination process starting, it does not stop but continues further at the ends of the structure with less width.

The prognosticated suppositions associated with the development of the reseach objects the researches will be developed in the direction of nonlinear analysis.

The investigation results can be inculcated into the practice of design and building of the automobile road asphalt overlays.

KEY WORDS. AUTOMOBILE ROAD, ASPHALT OVERLAY, TEMPERATURE FIELD, THERMO-ELASTIC DEFORMING, LAYERED NONHOMOGENEOUS SEMISPACE.

РЕФЕРАТ

Заец Ю.А. О механизме термоупругого расслоения дорожных покрытий при суточных изменениях в них полей температуры. / Ю.А. Заец, // Вестник Национального транспортного университета. Серия «Технические науки». Научно-технический сборник. – К.: НТУ, 2018. – Вып. 1 (40).

В работе рассмотрена задача компьютерного моделирования нестационарных полей температуры и напряжений в слоисто-неоднородных асфальтобетонных покрытиях дорог и их термоупругого расслоения.

Объект исследования - процессы и ресурсы, влияющие на прочность и долговечность покрытия слоистого полупространства в течение жизненного цикла.

Цель данной работы заключается в разработке методики исследования термоупругих напряжений в слоисто-неоднородных дорожных покрытиях.

Метод исследования. Используется конечно-элементный метод расчета полей температуры и напряжений в слоисто-неоднородных упругих средах.

В данной работе выполнена попытка компьютерного моделирования возможного эффекта расслоения слоисто-неоднородной конструкции дорожного покрытия в результате его термоупругого деформирования под действием суточных изменений в ней полей температуры. Применяя к конструкции дорожной одежды известные в теории слоистых композитных материалов свойства формирования касательных напряжений между двумя слоями, установлено, что наибольшее значение функция касательных сил достигает на границе первого и второго слоев конструкции. При этом ее максимальные значения локализуются на концах дороги, что способствует расслоению дорожного покрытия. Установлено, что после того как слои оторвались друг от друга, процесс расслоения не останавливается, а продолжается и дальше, на концах конструкции, но уже меньшей ширины.

Результаты статьи могут быть внедрены в практику проектирования и строительства асфальтобетонных покрытий автомобильных дорог.

Прогнозные предположения по развитию объекта исследования - проведение исследований в направлении нелинейного анализа.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: АВТОМОБИЛЬНЫЕ ДОРОГИ, АСФАЛЬТОБЕТОННОЕ ПОКРЫТИЕ ПОЛЕ ТЕМПЕРАТУР, ТЕРМОУПРУГОЕ ДЕФОРМИРОВАНИЕ, СЛОИСТО-НЕОДНОРОДНОЕ ПОЛУПРОСТРАНСТВО.

АВТОР:

Засць Юлія Олександрівна, кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, доцент кафедри вищої математики, e-mail: yzaets@gmail.com, тел. +380979712351, Україна, 01010, м.Київ, вул. Кіквідзе, 42, orcid.org/0000-0002-5748-9527

AUTHOR:

Zaiets Yu. O., Ph. D., National Transport University, associate professor department of high mathematics, e-mail: yzaets@gmail.com, tel. +380979712351, Ukraine, 01010, Kyiv, Kikvidze str. 42, orcid.org/0000-0002-5748-9527

АВТОР:

Заец Юлия Александровна, кандидат технических наук, Национальный транспортный университет, доцент кафедры высшей математики, e-mail: yzaets@gmail.com, тел. +380979712351, Украина, 01010, г. Киев, ул. Киквидзе, 42, orcid.org/0000-0002-5748-9527

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Лоза І.А., доктор фізико-математичних наук, професор, Національний транспортний університет, завідувач кафедри теоретичної механіки, Київ, Україна.

Киричук О.А., доктор технічних наук, професор, Київський національний університет будівництва і архітектури, професор кафедри теоретичної механіки, Київ, Україна.

REVIEWER:

Loza I.A., Ph.D., Physics and Mathematics (Dr), professor, National Transport University, head of department of theoretical mechanics, Kyiv, Ukraine.

Kuruchyk O.A., Ph.D., Engineering (Dr.), professor, National University of construction and architecture, professor, department of theoretical mechanics, Kyiv, Ukraine.