

УДК 539.3

МОДЕЛЮВАННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ КОНСТРУКЦІЇ ДОРОЖНЬОГО ОДЯГУ ПІД ДІЄЮ ТРАНСПОРТНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

В.В. Гайдайчук¹,
д-р техн. наук,

В.В. Мозговий²,
д-р техн. наук

Ю.О. Засць²,
канд. техн. наук,

Л.В. Шевчук²,
канд. техн. наук,

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

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

Поставлена задача про визначення напружено-деформованого стану шаруватого напівпростору під дією транспортних навантажень. Побудована скінченно-елементна модель пружної деформації масиву, виконаний комп'ютерний аналіз системи. Показано, що найнебезпечніші для покриття напруження розтягу локалізуються у нижній зоні шарів із монолітних матеріалів.

Ключові слова: автомобільна дорога, асфальтобетонне покриття, транспортні навантаження, поле напружень, напружено-деформований стан.

1. Вступ. Розтріскування асфальтобетонного покриття автомобільних доріг, викликане низькими температурами і дією транспортних навантажень, є однією з основних причин їх передчасного руйнування. У процесі експлуатації дороги наявність тріщини призводить до несної здатності монолітних шарів, а також і до проникнення через неї води в конструкцію дорожнього одягу і ґрунтове полотно. Моделювання напружено-деформованого стану дозволить оцінити вірогідність утворення тріщин, сприяти їх прогнозуванню та зниженню рівня негативного впливу на міцність і довговічність системи.

Зазначені ефекти давно привертали увагу вчених і фахівців-дорожників, тому явище утворення тріщин стало предметом їхніх багаторічних досліджень. Так, починаючи ще з 50-60-х років минулого століття, тривають як теоретичні, так і експериментальні роботи, спрямовані на вивчення проблем розтріскування асфальтобетонного покриття автомобільних доріг. Тим не менш, саме фізичне явище, при виникненні якого має місце розтріскування дорожнього асфальтобетонного покриття, до сих пір не вивчено повністю. Як

зазначено в роботі [1], основними причинами, що викликають утворення тріщин, є низькотемпературний вплив і деформаційні ефекти, спричинені дією статичних і динамічних транспортних навантажень. Чисто механічні погляди на процес виникнення тріщин не дали переконливого пояснення багатьом практично важливим особливостям поведінки конструкції дорожнього одягу під час експлуатації.

Наприклад, в умовах впливу низьких температур виникають наступні питання:

1. Чому на початковому етапі формування низькотемпературні тріщини орієнтовані, як правило, в поперечному напрямку дороги?

2. Чому кількість низькотемпературних тріщин на розглядуваному покритті збільшується з року в рік?

3. Чим можна пояснити приблизно рівні відстані між ними?

4. Як пов'язані їхні кількісні характеристики з показниками погоднокліматичних умов місцевості?

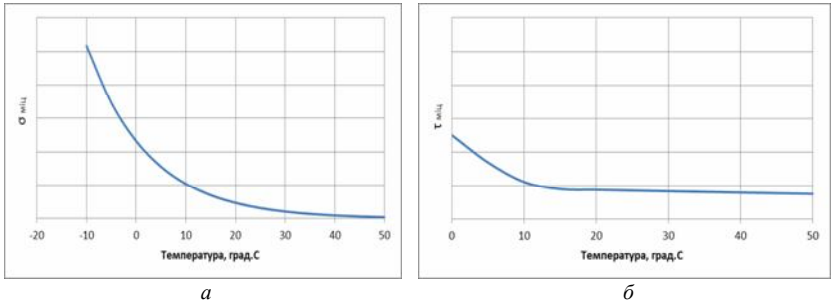
5. Чи можна знайти такий матеріал для дорожнього покриття, при використанні якого не з'являються низькотемпературні тріщини або їхня кількість буде істотно меншою в порівнянні з традиційними видами асфальтобетону?

6. Які конструктивні і технологічні заходи можна взяти, щоб повністю або частково запобігти появі низькотемпературних тріщин? та ін.?

Відповіді на деякі з цих питань подані в роботах [2, 3].

Не менш складним є також питання аналізу утворення тріщин на асфальтобетонному покритті під дією транспортних навантажень. Ця складність зумовлена тим, що асфальтобетони проявляють властивості в'язкопружних матеріалів, тому аналіз їх деформування повинен здійснюватися з урахуванням досить складних реологічних процесів релаксації та повзучості, а навантаження від транспортних засобів викликають в багатошаровому масиві конструкції дороги тривимірний напружено-деформований стан з суттєвими градієнтами стискаючих, розтягуючих та зсувних напружень. Необхідно також врахувати, що асфальтобетон по-різному чинить опір цим видам напружень і особливо їх комбінації. Так, якщо його міцність при стисненні порівняно велика, то при розтягуванні та зсуві вона є значно меншою і до того ж суттєво залежить від температури. На рис.1 представлені, отримані експериментально [4], графіки нормальних напружень розриву $\sigma_{міц}$ та зсувних напружень $\tau_{міц}$ асфальтобетону в залежності від температури.

Не менш актуальним є вивчення питання міцності асфальтобетонних шарів під дією дотичних напружень, оскільки в реальних умовах вони досить слабо чинять опір зсуву. Причому здатності чинити опір цим діям сприяють додаткові об'ємні стискаючі напруження в розглянутій зоні і зменшують напруження розтягу.

Рис. 1. Значення граничних напружень розтягу σ_{mic} (а)і зсувних напружень τ_{mic} (б) для асфальтобетонних матеріалів

З огляду на ці обставини, можна спробувати встановити деякі найбільш загальні особливості і тенденції настання граничних напружено-деформованих станів конструкцій дорожнього одягу, як шаруватих масивів дороги, методами тривимірної теорії пружності, визначаючи зони з найбільшими розтягуючими та зсувними напруженнями і аналізуючи умови, при яких мають місце їхні найбільш несприятливі комбінації.

2. Постановка задачі. Сформулюємо задачу про визначення напружено-деформованого стану конструкції дороги під дією транспортних навантажень. Дослідимо характер розподілу зон розтягуючих і зсувних напружень під колесами великовантажного автомобіля (рис. 2) з метою аналізу впливу накладення полів напружень в залежності від міжосьових відстаней « a » і « b » і відстаней між колесами « c » і « d ». Будемо вважати, що відповідно до загальноприйнятої методики [1] і результатів натурних спостережень пляма від контакту колеса з поверхнею дорожнього покриття (рис. 3) являє собою прямокутник (рис. 4), ширина « e » якого визначається конструкцією колеса і не змінюється зі зміною навантаження на колесо, а висота « f » залежить від цього навантаження так, що рівнодіюча P контактного тиску « p » дорівнює силі, що діє на колесо, тобто

$$P = p \cdot e \cdot f. \quad (1)$$

Тут p – тиск в пневматиці.

Приймемо, що P і p відомі, тоді висота « f » плями визначається рівністю

$$f = P / (p \cdot e). \quad (2)$$

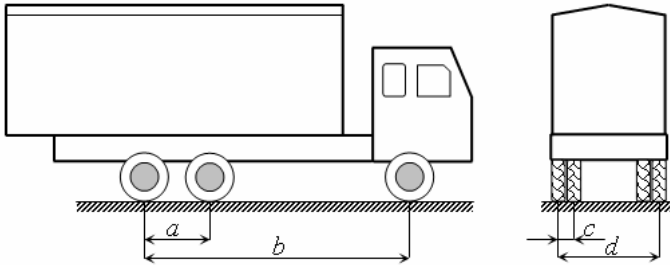


Рис. 2. Геометрична схема розташування коліс трьохвісного автомобіля

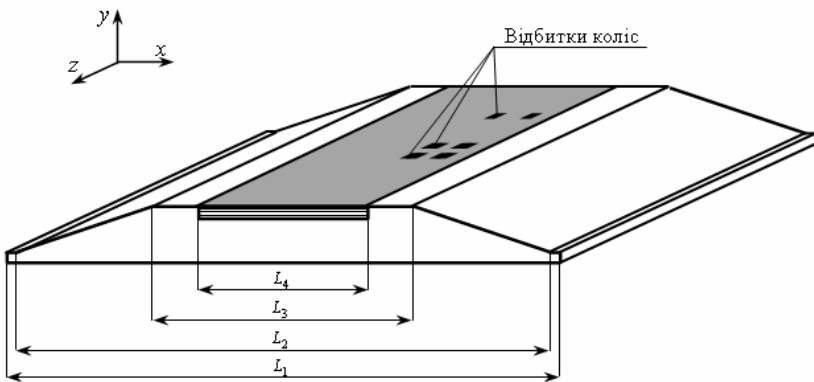


Рис. 3. Конструктивна схема дорожнього масиву

Представлена задача є тривимірною. Для її розв'язання необхідно площинами $x = const$, $y = const$, $z = const$ виділити із загального неоднорідного шаруватого масиву прямокутний паралелепіпед і, задавши відповідні граничні умови на відповідних граничних площинах, розв'язати відповідні рівняння теорії пружності чисельним методом.

При побудові цих рівнянь врахуємо, що швидкості поширення хвиль пружних деформацій в масиві, що розглядається, (складові сотні метрів в секунду) набагато перевищують швидкості руху автомобілів. Тому навантаження від сил тяжіння рухомого транспортного засобу можна вважати квазістатичним і задачу формулювати в статичній постановці.

Вважаємо, що конструкція дороги складається з чотирьох шарів, що лежать на ґрунтовій основі (рис. 3). Надамо їм номери 1-4 в порядку слідування зверху вниз, номер 5 присвоїмо ґрунтовій основі. Тоді в межах кожного фрагменту 1-5 дороги задовольняються рівняння пружної рівноваги [4]

$$\mu \nabla^2 \vec{u} + (\lambda + \mu) \text{grad div} \vec{u} = 0. \quad (3)$$

Тут λ і μ – параметри Ляме. Вони виражаються через модуль пружності E і коефіцієнт Пуассона за допомогою співвідношень

$$\lambda = \frac{\nu E}{(1+\nu)(1-2\nu)}, \quad \mu = \frac{E}{2(1+\nu)}.$$

На вільних площинах шару 1 і ґрунтовому масиві задані умови рівності нулю нормальних і дотичних напружень

$$\sigma_y = 0, \quad \tau_{yx} = \tau_{yz} = 0. \quad (4)$$

У межах плями контактної взаємодії напруження σ_y дорівнює тиску p в пневматиці, тому

$$\sigma_y = -p. \quad (5)$$

На площинах зчленування суміжних шарів, а також четвертого шару з ґрунтовою основою задавалися умови неперервності переміщень

$$u_{i-1} = u_i, \quad v_{i-1} = v_i, \quad w_{i-1} = w_i \quad (i = 2, 3, \dots, 5). \quad (6)$$

Для розв'язання задачі був використаний метод скінченних елементів. При цьому виділений для розрахунків шаруватий масив розбивався на тривимірні скінченні елементи (рис. 5) і система диференціальних рівнянь замінювалася системою алгебраїчних скінченно-елементних рівнянь

$$[K_u]\{u\} = \{q\}, \quad (7)$$

сформованих з урахуванням граничних рівнянь (4) – (6). Тут $[K_u]$ – матриця жорсткості для скінченно-елементної моделі всього пружного масиву, $\{u\}$ – вектор вузлових переміщень, $\{q\}$ – вектор навантаження.

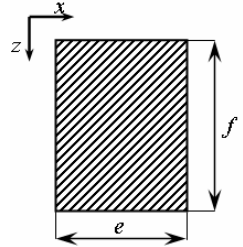


Рис. 4. Схема плями контакту між колісним пневматиком і поверхнею покриття

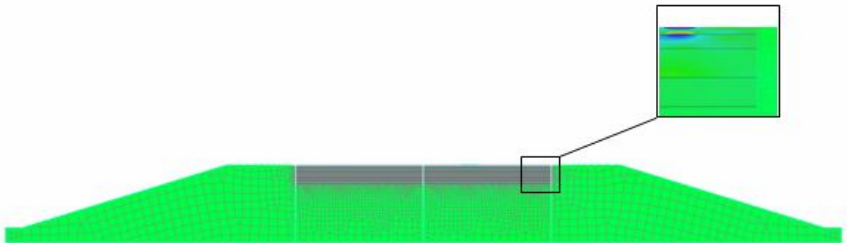


Рис. 5. Скінченно-елементна модель перерізу дорожнього масиву

В результаті розв'язання цієї системи обчислювалися деформації у всіх вузлах скінченно-елементної моделі і будувалися поля напружень. Обробка результатів обчислень проводилася із застосуванням спеціально розробленого постпроцесора, що дозволяє кожному знайденому

значенню шуканої функції ставити у відповідність кольоровий мазок на виділеному полі і за допомогою кольорової шкали ідентифікувати їх величини.

3. Результати чисельного аналізу. Для аналізу обрано чотиришарова конструкція дорожнього покриття з габаритними розмірами $L_1 = 24,5$ м, $L_2 = 23,5$ м, $L_3 = 11,5$ м, $L_4 = 7,5$ м. 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, $\nu = 0,35$.

Для розрахунку виділений масив дороги довжиною $l = 1,8$ м. Скінченно-елементна схема перетину конструкції дороги представлена на рис. 5. Загальна кількість скінченних елементів для неї склало 331104, число вузлів – 236475, число шуканих невідомих – 687633.

В роботі [1] методами експериментального і комп'ютерного моделювання встановлено, що взаємний вплив полів напружень від коліс, які закріплені на двох найближчих сусідніх осях автомобіля (рис. 2), не перевищує 10%. Тому на початковому етапі вважалося, що на верхній шар діє вертикальне навантаження від одного колеса, яке розташоване на одній осі, і дія навантажень від інших коліс не враховувалась. У зв'язку з тим, що задача розв'язувалась в тривимірній постановці, а шари покриття мають малу товщину, верхній шар був апроксимований всього лише двома елементами по вертикалі.

З урахуванням того, що розглянута система має симетрію відносно площини $z = 0$, яка проходить через осьову лінію коліс, для розрахунку виділений масив дороги, обмежений площинами $z = 0$ і $z = 1,8$ м. У математичній моделі на цих площинах задавалися граничні умови симетрії.

На рис. 6 у кольоровому зображенні показано поля розподілу вертикальних переміщень в перерізі дорожнього масиву. Справа подана шкала значень кольорової палітри, яка відповідає значенням переміщень $u_z(x, y)$. Як видно, максимальне переміщення склало $3 \cdot 10^{-4}$ м. При цьому максимальні значення функцій напружень локалізуються у прилеглий до колеса зоні. В зв'язку з цим, тут доречно звернути увагу на висновки, які зроблені американськими вченими в роботі [1]. Вони відзначили, що оскільки, конструкція дороги складається з тонких шарів покриття, доводиться їх апроксимувати скінченними малих розмірів і для досягнення необхідної точності приходиться будувати скінченно-

елементні моделі з великим числом ступенів вільності. В результаті розв'язання, сформульованих таким чином систем рівнянь, вимагає великого обсягу розрахункового часу на сучасних швидкодіючих комп'ютерах. Тому для якісного аналізу полів напружень у фрагментах конструкції і встановлення найбільш загальних закономірностей їх розподілу в роботі [1] запропоновано розв'язати двовимірну задачу в площині Oxy , яка проходить через вісь автомобіля перпендикулярно напрямку Oz дороги.

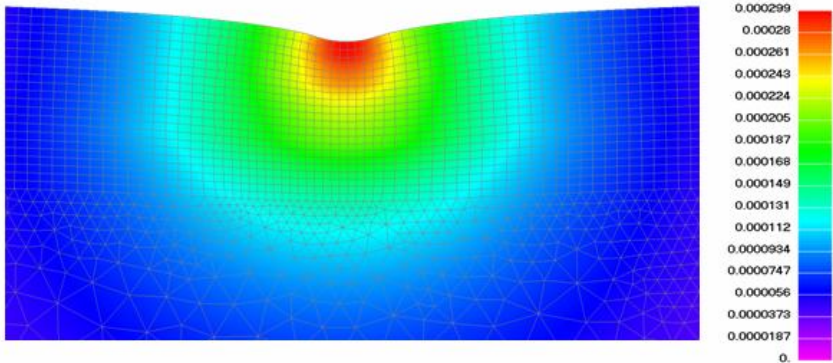


Рис. 6. Поле переміщень в шаруватому масиві під дією навантаження від одного колеса

У нашому випадку відстань між серединними площинами коліс $c = 0,365$ м, центр крайнього колеса віддалений від краю покриття дороги на величину $0,5$ м, ширина контактної плями $e = 0,2$ м, інтенсивність рівномірно розподіленого тиску колеса на поверхню дороги дорівнює тиску в пневматиці $p = 0,8$ МПа.

Завдяки моделюванню задачі в двовимірній постановці, вдалося істотно згустити скінченно-елементну сітку в площині XoY і апроксимувати верхній шар десятима рядами скінченних елементів у висоту. При такій апроксимації число скінченних елементів у всій моделі виявилось рівним 195028, число вузлів – 294777, число шуканих переміщень – 687600.

На рис. 7 показано перетин конструкції дороги під колесами в деформованому стані. Максимальне переміщення u_y під колесами склало $3,23 \cdot 10^{-3}$ м.

Поле розподілу нормальних напружень σ_y на горизонтальних площадках пружного масиву представлено на рис. 8. Вони всюди від'ємні, тобто є стискаючими і швидко зменшуються по вертикалі.

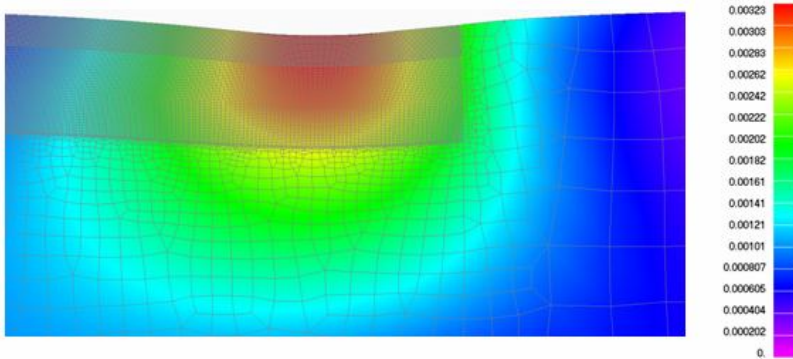


Рис. 7. Поле переміщень в шаруватому масиві під дією навантаження від двох коліс

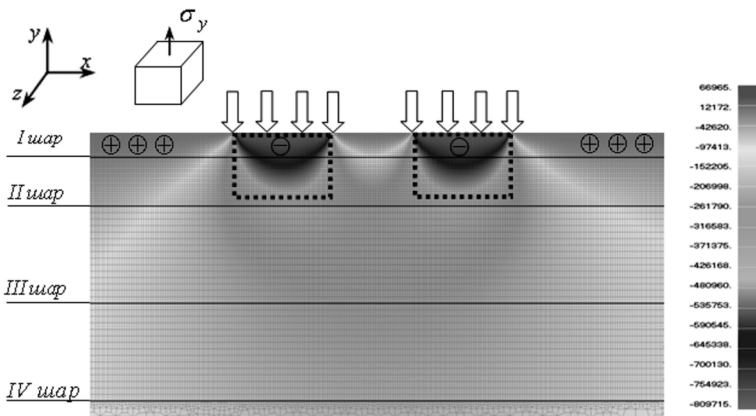


Рис. 8. Поле напружень σ_y у перерізі дорожнього покриття

Більш істотний інтерес представляє характер розподілу в перерізі функції нормальних напружень σ_x , оскільки вони є знакозмінними. На рис. 9 ділянки максимальних по модулю від'ємних і додатних напружень виділені окремо. Вони мають місце у верхній і нижній зонах першого і другого шарів асфальтобетонного покриття, причому стискаючі напруження істотно перевищують значення напружень розтягу. Такий характер розподілу напружень σ_x можна пояснити тим, що значення модулів пружності E_1 , E_2 двох верхніх шарів набагато більші модулів пружності нижніх шарів, тому два верхніх шару можна вважати плитою, яка лежить на пружній основі, утворену двома шарами, які нижче лежать, і ґрунтовим масивом, а конструкцію покриття для обраного навантаження

можна моделювати як згин плити на пружній основі. У цьому випадку верхні елементи шару 1 стиснуті, а нижні елементи нижнього шару 2 – розтягнуті. Природно очікувати, що утворення тріщин і руйнування цієї конструкції має починатися з нижніх елементів другого шару, якщо причиною руйнування є розтягнення.

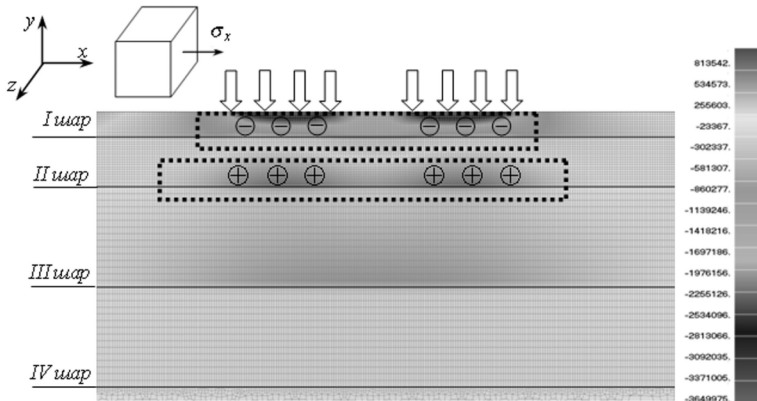


Рис. 9. Поле напружень σ_x у перерізі дорожнього покриття

Звернемося тепер до поля розподілу дотичних напружень τ_{xy} , що діють на площадках $x = const$ в напрямку осі Oy (рис. 10). Зони їх максимальних величин виділені в прямокутники і їх числові значення подані праворуч на кольоровій шкалі. Як і вище, кожен колірний відтінок цієї палітри відповідає певному значенню даної величини.

Співставляючи результати обчислень на рис. 9 і 10, випишемо максимальні значення цих величин: $\sigma_x^{\max} = 0,813 \text{ МПа}$, $\tau_x^{\max} = 0,512 \text{ МПа}$.

Необхідно підкреслити, що максимальні значення зсувних напружень τ_x^{\max} реалізуються в зонах, де нормальні напруження σ_x , σ_y , σ_z є стискаючими, тому в ній елементи покриття можуть чинити опір зсувним навантаженням. Однак для встановлення конкретного рівня небезпеки тих і інших напружень необхідно на основі діаграм, представлених на рис. 1, досліджувати окремо вплив кожного з цих видів напружень.

Однією з причин прогресуючого руйнування дорожнього покриття є порушення зв'язків між його шарами. Для аналізу впливу розшарування на поля напружень в його конструкції прийемо, що на деякій ділянці дороги сталося відшарування першого шару від другого і шари можуть вільно ковзати відносно один одного. При цьому в напрямку вертикальної

осі між ними реалізуються нормальні стискаючі напруження і контакт між ними зберігається.

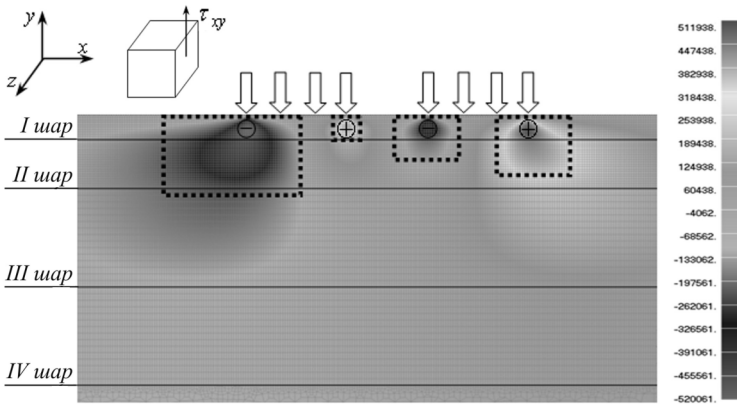


Рис. 10. Поле розподілу дотичних напружень τ_{xy}

Для такої постановки задачі виконано комп'ютерне моделювання напружено-деформованого стану покриття транспортного навантаження. Вважалось, що розшарування одягу сталося на ділянці, яка розташована на відстані на 2,34 м зліва і праворуч 0,54 м від центру колісної пари.

Розрахунки показали, що конструкція в цьому випадку стала більш піддатливою і її максимальний прогин склав $u_x^{\max} = 3,51 \cdot 10^{-3}$ м. Відбулася також деяка перебудова полів напружень.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *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.
2. *Radovsky B.* Mozgovej // 4-th Eurobitum Symposium. Summaries and papers. Madrid, 4-9 Oct. 1989. Vol. 1. – P. 571-575.
3. *Мозговой В.В.* Повышение гидроизоляционной способности асфальтобетонного покрытия / В.В. Мозговой // Проблемы механики и строительства транспортных сооружений: Труды II Международной научно-практической конференции. - Алматы. – 2015. – С. 54-60.
4. *Страгис В.И.* Зависимость параметров сдвига асфальтобетона от температуры / В.И. Страгис, С.Ю. Рокас // Санитарная техника. Дороги. Гидротехническое строительство. Инженерная геодезия. Основания и фундаменты. Материалы Республиканской XIX научно-технической конференции. – Каунас. – 1969. – С. 51-54.
5. *Гуляев В.И.* Дослідження термонапруженого стану конструкцій дорожнього одягу / В.И. Гуляев, В.В. Гайдайчук, В.В. Мозговий, Ю.О. Засць, Л.В. Шевчук // Промислове будівництво та інженерні споруди. – 2017. – №1. – С. 6-12.

6. *Гайдайчук В.В.* Чисельне моделювання термонапруженого стану шаруватого покриття автомобільної дороги / В.В. Гайдайчук, В.В. Мозговий, Ю.О. Заєць, Л.В. Шевчук // Опір матеріалів і теорія споруд. – 2017. – Вип. 98 – С. 56-71.

REFERENCES

1. *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.
2. *Radovsky B., Mozgovoy V.* Ways to reduce low-temperature cracking of asphalt pavements // 4-th Eurobitum Symposium. Summaries and papers. Madrid, 4-9 Oct. 1989. Vol. 1. – P. 571-575.
3. *Mozgoviy V.V.* Povyshenie gidroizolyatsionnoy sposobnosti asfaltobetonogo pokrytiya Tekst dlya perekladu (Waterproofing ability increase of asphalt-concrete pavement) // Problems of mechanics and construction of transport structures: Proceedings of the II International Scientific and Practical Conference. Almaty. 2015. – P. 54-60.
4. *Strahys V.Y., Rokas S.Iu.* Zavisimost parametrov sdviga asfaltobetona ot temperatury (Dependence of asphalt-concrete displacement parameters on temperature) // Sanitary engineering. Roads. Hydrotechnical construction. The engineering geodesy. Bases and foundations. Materials of the Republican XIX scientific and technical conference. Kaunas – 1969. – P. 51-54.
5. *Gulyayev, V. I., Gaydaychuk V.V., Mozgoviy V.V., Zaets Yu. A., Shevchuk L.V.* Doslidzhennia termonapruzhenoho stanu konstruktsii dorozhnogo odiahu (Analysis of thermo-stressed state of the road coating structures) // Industrial building and engineering structures. – 2017. – №1. – P. 6-12.
6. *Gaydaychuk V.V., Mozgoviy V.V., Zaets Yu. A., Shevchuk L.V.* Chyselne modeliuvannia termonapruzhenoho stanu sharuvatoho pokrytia avtomobilnoi dorohy (Numerical simulation of thermo-stressed states of layered coating of automobile road) // Strength of Materials and Theory of structures. – 2017. – Vol. 98 – P. 56-71.

Gaidaiichuk V.V., Mozgoviy V. V., Zaiets Yu. O., Shevchuk L.V.

SIMULATION OF STRESS-STRAIN STATES OF ROAD STRUCTURES UNDER ACTION OF TRANSPORT LOADS

Currently, the intensity of the vehicular traffic enlarged essentially and the share of heavy-duty transport facilities with increased numbers of axles and boosted pressure in pneumatics rose noticeably. Therefore, the questions of investigation of the parameter and character of loads produced by modern transport facilities, acting on the pavement coating, assume great significance. In this connection, the necessity to elaborate, leaning upon the designing rules and results of full-size inspections, the classification of computational schemes of the road pavement structures functioning arose. For this reason, the mathematic models and computational methods, taking into account the modern characteristics of transport loads and thermo-mechanical properties of the road materials, should be elaborated with the aim to bring about the practical measures for upgrading of the pavement coating strength.

The problem on analysis of stress-strain states of a layered road massif under action of transport loads is formulated. The finite element model of the elastic massif equilibrium is constructed, the computer analysis of the system is performed. It is demonstrated that the most dangerous tensile stresses are localized in the lower zones of the second layer, while the maximal values of the shear stresses take place in the first layer in the vicinity of the external load application. The question of crack generation and layer destruction are discussed.

Keywords: automobile road, asphalt-concrete coating, transport loads, stress fields, stress-strain state.

Гайдайчук В.В., Мозговой В.В., Заец Ю.А., Шевчук Л.В.

**МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ
КОНСТРУКЦИИ ДОРОГИ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ТРАНСПОРТНЫХ НАГРУЗОК**

Поставлена задача об определении напряжено-деформированного состояния слоистого дорожного массива под действием транспортных нагрузок. Построена конечно-элементная модель упругого равновесия массива, выполнен компьютерный анализ системы. Показано, что наиболее опасные для покрытия напряжения растяжения локализируются в нижних зонах второго слоя, в то время как максимальные значения напряжений сдвига имеют место в первом слое в окрестности приложения вертикальных сил. Обсуждаются вопросы трещинообразования и разрушения слоев.

Ключевые слова: автомобильная дорога, асфальтобетонное покрытие, транспортные нагрузки, поле напряжений, напряжено-деформированное состояние.

УДК 539.3

Гайдайчук В.В., Мозговий В.В., Засць Ю.О., Шевчук Л.В.

Моделювання напружено-деформованого стану конструкції дорожнього одягу під дією транспортних навантажень // Опір матеріалів і теорія споруд. – 2017. – Вип. 99. – С. 45 – 57.

Поставлена задача про визначення напружено-деформованого стану шаруватого напівпростору під дією транспортних навантажень.

Іл. 10. Бібліогр. 6 назв.

Gaidaichuk V.V., Mozgoviy V.V., Zaiets Yu.O., Shevchuk L.V. **Simulation of stress-strain states of road structures under action of transport loads** // Strength of Materials and Theory of structures. – 2017. – Issue 99. – P. 45 – 57.

The problem on analysis of stress-strain states of a layered road massif under action of transport loads is formulated.

Гайдайчук В.В., Мозговой В.В., Заец Ю.А., Шевчук Л.В.

Моделювання напружено-деформированного состояния конструкции дороги под действием транспортных нагрузок // Соппротивление материалов и теория сооружений. – 2017. – Вып. 99. – С. 45 – 57.

Поставлена задача об определении напряжено-деформированного состояния слоистого дорожного массива под действием транспортных нагрузок.

Автор (вчена ступень, вчене звання, посада): доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри теоретичної механіки Гайдайчук Віктор Васильович

Адреса робоча: 03680 Україна, м. Київ, Повітрофлотський проспект 31, Київський національний університет будівництва і архітектури, Гайдайчуку Віктору Васильовичу.

Мобільний тел.: +38(097) 542-94-27;

E-mail: viktor_gaydaychuk@ukr.net

Автор (вчена ступень, вчене звання, посада): доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри дорожньо-будівельних матеріалів і хімії Мозговий Володимир Васильович

Адреса робоча: 01103 Україна, м. Київ, вул. М. Бойчука 42, Національний транспортний університет, Мозговому Володимиру Васильовичу

Мобільний тел.: +38(050) 506-25-64;

E-mail: mozgovyy@gmail.com

Автор (вчена ступень, вчене звання, посада): кандидат технічних наук, доцент кафедри вищої математики Засць Юлія Олександрівна

Адреса робоча: 01103 Україна, м. Київ, вул. М. Бойчука 42, Національний транспортний університет, Засць Юлії Олександрівні

Мобільний тел.: +38(097) 971-23-51;

E-mail: yzaets@gmail.com

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

Мобільний тел.: +38(066) 715-36-33;

E-mail: Ludmilashevchuk25@gmail.com