

ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ДОРОЖНЬОГО ОДЯГУ З УКРІПЛЕНОЮ ОСНОВОЮ ПІД ПОПЕРЕЧНИМИ ТРІЩИНАМИ І ШВАМИ

Гуляєв В.І., доктор технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, valery@gulyayev.com.ua, orcid.org/0000-0002-5388-006X

Мозговий В.В., доктор технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, mozgoviy@gmail.com, orcid.org/0000-0002-1032-8048

Густєлев О.О., Національний транспортний університет, Київ, Україна, gustelev_pao@ukr.net, orcid.org/0000-0001-8257-358X

Шлюнь Н.В., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, nataliyashlyun@gmail.com, orcid.org/0000-0003-1040-8870

Куцман О.М., Національний транспортний університет, Київ, Україна, kutsmans@ukr.net, orcid.org/0000-0002-4510-4570

Баран С.А., Національний транспортний університет, Київ, Україна, baran_serg@ukr.net, orcid.org/0000-0002-3591-9880

ANALYSIS OF STRESS-STRAIN STATE OF A ROAD OVERLAY REINFORCED BY SUPPORT UNDER TRANSVERSE CRACKS AND SEAMS

Gulyayev V.I., Dr. Sci., National Transport University, Kyiv, Ukraine, valery@gulyayev.com.ua, orcid.org/0000-0002-5388-006X

Mozgovyy V.V., Dr. Sci., National Transport University, Kyiv, Ukraine, mozgoviy@gmail.com, orcid.org/0000-0002-1032-8048

Gustieliyev O.O., Municipal Corporation «Kyivavtodor», Kyiv, Ukraine, gustelev_pao@ukr.net, orcid.org/0000-0001-8257-358X

Shlyun N.V., Ph.D., National Transport University, Kyiv, Ukraine, nataliyashlyun@gmail.com, orcid.org/0000-0003-1040-8870

Kutsmans O.M., National Transport University, Kyiv, Ukraine, kutsmans@ukr.net, orcid.org/0000-0002-4510-4570

Baran S.A., National Transport University, Kyiv, Ukraine, baran_serg@ukr.net, orcid.org/0000-0002-3591-9880

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ ИЗ УКРЕПЛЕННЫХ ОСНОВАНИЙ ПОД ПОПЕРЕЧНЫМИ ТРЕЩИНАМИ И ШВАМИ

Гуляев В.И., доктор технических наук, Национальный транспортный университет, Киев, Украина, valery@gulyayev.com.ua, orcid.org/0000-0002-5388-006X

Мозговой В.В., доктор технических наук, Национальный транспортный университет, Киев, Украина, mozgoviy@gmail.com, orcid.org/0000-0002-1032-8048

Густелев А.А., Коммунальная корпорация «Киевавтодор», Киев, Украина, gustelev_pao@ukr.net, orcid.org/0000-0001-8257-358X

Шлюнь Н.В., кандидат технических наук, Национальный транспортный университет, Киев, Украина, nataliyashlyun@gmail.com, orcid.org/0000-0003-1040-8870

Куцман А.М., Национальный транспортный университет, Киев, Украина, kutsmans@ukr.net, orcid.org/0000-0002-4510-4570

Баран С.А., Национальный транспортный университет, Киев, Украина, baran_serg@ukr.net, orcid.org/0000-0002-3591-9880

Вступ

За своєю структурою шаруваті конструкції дорожнього одягу автомобільних доріг і вулиць подібні до композитів, створенню яких та вивченню їх механічних властивостей нині приділяється значна увага у технічних науках. Важливою перевагою композитів є можливість регулювання і управління термо-механічними властивостями композиту в заданому напрямку за рахунок

цілеспрямованого підбору орієнтації властивостей його компонент, а також вибору раціональної топології його структурних елементів. Тому при вирішенні прикладних задач механіки конструкцій дорожніх одягів спостерігається тенденція використання створених стосовно композитів наукових основ і методологій прогнозування їх механічної поведінки в умовах експлуатації. Так, як і в композитах, властивості дорожньо-будівельних матеріалів усереднюють на всьому масиві конструкції, вважаючи композит однорідним, але анізотропним із заданими характеристиками жорсткості і міцності в різних напрямках [1–3, 10–13]. При цьому властивості всього масиву усереднюються і для опису його механічних (термомеханічних) властивостей використовується метод приведених модулів, коли параметри термопружності і міцності залежать від орієнтації обраного напрямку. Причому значення цих модулів можна прорахувати завчасно шляхом цілеспрямованого підбору матеріалів матриці і наповнювача.

Одним із актуальних питань існуючої практики експлуатації автомобільних доріг і вулиць є необхідність дослідження напружено-деформованого стану конструкції дорожнього одягу з асфальтобетонним покриттям протягом його життєвого циклу з урахуванням наявності в ньому локальних найбільш поширених дефектів у вигляді поперечних температурних тріщин та швів. Наявність цих дефектів та певні ремонтні заходи при експлуатаційному утриманні призводять до зміни напружено-деформованого стану у всіх елементах конструкції дорожнього одягу, що не враховується в сучасній практиці проектування та експлуатації доріг і є однією з причин нераціонального витрачання коштів на ремонти та передчасного переходу їх в аварійний стан.

Постановка проблеми.

Однією із основних причин появи поперечних тріщин у верхньому шарі дорожнього покриття є температурні розтягуючі напруження в поздовжньому напрямі дороги в зимовий час [1-3]. Вони викликані тим, що при низьких температурах верхні шари дороги намагаються зменшити свою довжину при зниженні температури, проте через практично нескінченну довжину не можуть це здійснити і в верхньому шарі виникають поперечні неупорядковані тріщини, які внаслідок дії транспортних навантажень і сил від води, що замерзла, призводять до подальшого розшарування і руйнування [1-3, 5, 10-13] дорожньої конструкції (рис. 1 а).

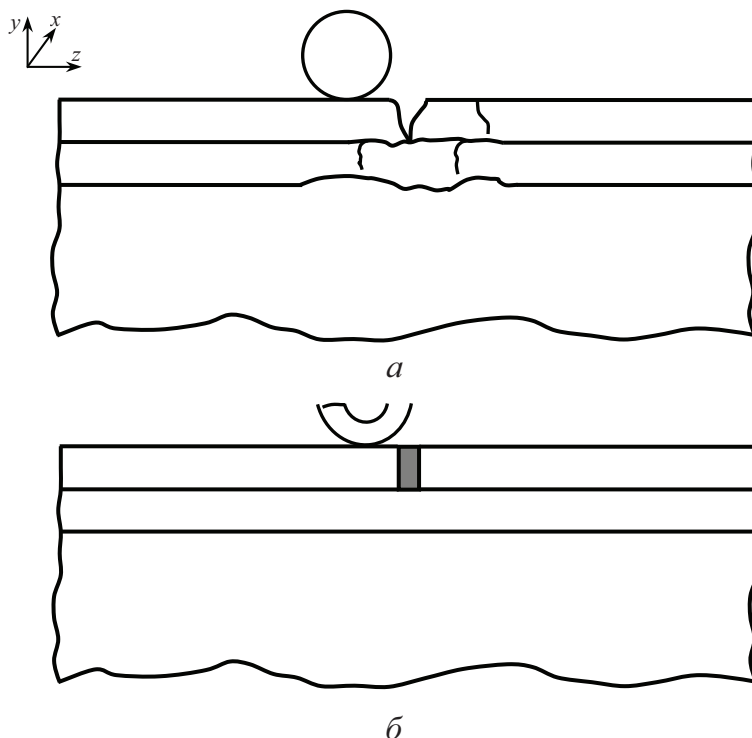


Рисунок 1 – Схеми природного (а) і штучного (б) введення тріщин у верхній шар покриття

Figure 1 – Schemes of the natural (a) and artificial (б) introduction of cracks in the top layer of the coating

Для виключення цього ефекту в верхній шар покриття з визначеним кроком вводяться поперечні штучні розрізи у вигляді температурних швів або здійснюється розчистка вже утворених поперечних температурних тріщин (рис. 1 б), які дозволяють вільно укорочуватися і подовжуватися

верхньому шару і знімати виникаючі в ньому поздовжні термонапруження. Вони заповнюються спеціальною мастикою, яка перешкоджає проникненню вологи. В той же час такі розрізи знижують загальну згинальну жорсткість конструкції, сприяючи концентрації нормальних і дотичних напружень в розглянутій зоні під дією транспортних навантажень [1-3]. Для зняття цих додаткових напружень, також сприяючих подальшому руйнуванню конструкції, запропоновано безпосередньо під розрізом вводити в другий шар підкріплюючу плиту, виконану із більш жорсткого і міцного матеріалу, який здатний сприймати підвищені напруження (рис. 2). В зв'язку з тим, що ця плита розміщена в зоні концентрації напружень, ці напруження стають менше небезпечними.

Виклад основного матеріалу дослідження і отриманих результатів.

Виконано скінченно-елементне дослідження перебудови напружень для випадку, коли транспортне навантаження інтенсивністю p розташоване асиметрично з однієї сторони розрізу (рис. 1). Вибрані плити різної геометрії і ширини. Розглядались принципові сторони питання про підкріплення конструкції, тому задача розв'язувалася в постановці плоского напруженого стану. Для розрахунку, у першому наближенні, виділена трьохшарова конструкція (рис. 2 а), верхній шар якої моделює двохшарове асфальтобетонне покриття (асфальтобетон дрібнозернистий щільний з максимальною крупністю зерен до 20 мм на бітумі модифікованому полімером товщиною 0,08 м; асфальтобетон крупнозернистий щільний з максимальною крупністю зерен до 40 мм товщиною 0,15 м), а нижній – двохшарову асфальтобетонну основу з пористого (0,10 м) та високопористого (0,15 м) асфальтобетонів. Масив конструкції довжиною 5 м і з товщинами приведених шарів $h_1=0,23$ м, $h_2=0,22$ м, $h_3=1$ м. Ширина зазору складає 0,03 м. Властивості матеріалів шарів наведені у таблиці 1.

Таблиця 1 – Властивості матеріалів шарів

Table 1 – Properties of layer material

Номер шару	Матеріал	Товщина (м)	E (Па)	ν
1	Асфальтобетон покриття	0,23	$3 \cdot 10^{10}$	0,25
2	Асфальтобетон основи	0,22	$2,4 \cdot 10^9$	0,3
3	Матеріали підстилюючих шарів	1,0	10^8	0,35

Транспортне навантаження інтенсивністю $P = 8 \cdot 10^5$ Па розподілене на ділянці шириною 0,6 м.

Задача розв'язувалася в пружній постановці. Для її розв'язання в межах кожного шару використовувалися рівняння теорії пружності [4, 6]

$$\begin{aligned}
 \mu \left(\frac{\partial^2}{\partial x_1^2} + \frac{\partial^2}{\partial x_2^2} + \frac{\partial^2}{\partial x_3^2} \right) u_1 + (\lambda + \mu) \frac{\partial}{\partial x_1} \left(\frac{\partial u_1}{\partial x_1} + \frac{\partial u_2}{\partial x_2} + \frac{\partial u_3}{\partial x_3} \right) + F_1 &= 0, \\
 \mu \left(\frac{\partial^2}{\partial x_1^2} + \frac{\partial^2}{\partial x_2^2} + \frac{\partial^2}{\partial x_3^2} \right) u_2 + (\lambda + \mu) \frac{\partial}{\partial x_2} \left(\frac{\partial u_1}{\partial x_1} + \frac{\partial u_2}{\partial x_2} + \frac{\partial u_3}{\partial x_3} \right) + F_2 &= 0, \\
 \mu \left(\frac{\partial^2}{\partial x_1^2} + \frac{\partial^2}{\partial x_2^2} + \frac{\partial^2}{\partial x_3^2} \right) u_3 + (\lambda + \mu) \frac{\partial}{\partial x_3} \left(\frac{\partial u_1}{\partial x_1} + \frac{\partial u_2}{\partial x_2} + \frac{\partial u_3}{\partial x_3} \right) + F_3 &= 0.
 \end{aligned} \quad (1)$$

при значеннях $F_1 = F_2 = F_3 = 0$ з величинами λ і μ , перерахованими через E і ν із табл. 1. При цьому на верхній площині першого шару використовувалися умови вільного краю [9] (крім ділянки прикладання нормального розподіленого навантаження P)

$$\sigma_{22} = \sigma_{yy} = 0, \quad \tau_{21} = \tau_{yx} = 0, \quad \tau_{23} = \tau_{yz} = 0. \quad (2)$$

На площині контакту першого і другого, а також другого і третього шарів були прийняті умови нерозривності переміщень

$$\begin{aligned} u_1(1) &= u_1(2), & u_2(1) &= u_2(2), & u_3(1) &= u_3(2), \\ u_1(2) &= u_1(3), & u_2(2) &= u_2(3), & u_3(2) &= u_3(3). \end{aligned} \quad (3)$$

Тут індекси в дужках (1), (2) і (3) позначають номер шару.

Крайові умови на вертикальних краях виділеного масиву задавалися із умови симетрії

$$\begin{aligned} u_3(1) &= 0, & \tau_{31}(1) &= 0, & \tau_{32}(1) &= 0, \\ u_3(2) &= 0, & \tau_{31}(2) &= 0, & \tau_{32}(2) &= 0, \\ u_3(3) &= 0, & \tau_{31}(3) &= 0, & \tau_{32}(3) &= 0. \end{aligned} \quad (4)$$

Відмітимо, що в комп'ютерних програмах використовуються незалежні змінні x, y, z з відповідністю $x_1 \rightarrow x, x_2 \rightarrow y, x_3 \rightarrow z$.

Моделювання виділеного зазору здійснювалося шляхом прикладання умов вільного краю на його берегах. На площинах контакту шарів покриття і підкріплюючих плит записувалися умови неперервності переміщень.

Спочатку було виконано розрахунок конструкції без розрізу. Він показав, що під вибраним навантаженням найбільші розтягуючі напруження реалізуються на вільній поверхні покриття і складають $\sigma_{zz} = 1372618$ Па, найбільші за модулем стискаючі напруження σ_{yy} мають місце в нижній точці розриву й дорівнюють $\sigma_{yy} = -804151$ Па.

Дослідження проведене методом скінченних прямокутних елементів. В поздовжньому напрямі (вздовж координати z) конструкція розбилась на 186 скінченних елементів, при цьому перший шар за товщиною розбивався на 5 скінченних елементів, другий – на 8 скінченних елементів і третій – на 13 скінченних елементів. Для такої дискретизації загальне число скінченних елементів склало 10940, вузлів – 17091, шуканих змінних – 924.

Потім на тій же скінченно-елементній сітці проаналізовано напружено-деформований стан конструкції з зазором (рис. 2 а). На рис. 3, а-г в кольоровому зображенні показані, відповідно, поля напружень σ_{xx} (а), σ_{yy} (б), σ_{zz} (в) і σ_{yz} (г). Можна помітити, що тут напруження суттєво збільшилися.

На них кожному відтінку кольорової палітри відповідає певне значення відповідного напруження, величина якого подана справа на кольоровій шкалі. Максимальне (за модулем) значення цих величин наведені у таблиці 2.

Місця локалізації цих напружень позначені на рис. 3 кружечками. Незалиті кружечки відносяться до напружень розтягу, залиті – до напружень стиску.

Представляє інтерес прослідкувати за характером цих функцій в найбільш характерних перерізах. На рис. 4 показані графіки зміни функцій і в верхньому скінченно-елементному ряду другого шару непідкріпленої конструкції з розрізом. Їх аналіз підтверджує, що введення розрізу приводить до суттєвої концентрації напружень у його околі і доцільності введення підкріплення в цій зоні.

На рис. 5 показані графіки функцій $\sigma_{xx}(z)$ (а), $\sigma_{yy}(z)$ (б), $\sigma_{zz}(z)$ (в) і $\sigma_{yz}(z)$ (г) в скінченно-елементному ряду, що віддалений своєю нижньою стороною на 0,1 м від границі між першим і другим рядом. Відзначимо, що цей переріз проходить через нижню площину підкріплюючої плити, яка представлена на рис. 2 г. На рис. 6 а-г представлені графіки цих же функцій в скінченно-елементному ряду, прилягаючий до ряду, який описаний на рис. 5. Як видно, функції напружень тут мають пікові значення.

Для зменшення рівня напружень в зоні найбільших напружень (безпосередньо під розрізом) вводяться підкріплюючі плити шириною 0,4 м, 0,8 м і 1 м (рис. 2 б, в, г) з підвищеними значеннями модуля пружності $E = 10^{10}$ Па і $3 \cdot 10^{10}$ Па.

На рис. 7 і 8 показані поля напружень для випадків 1 і 2, відповідно, представлених на рис. 2, при $E = 10^{10}$ Па. Із них випливає, що максимальні значення напружень збільшилися, проте вони сформулювалися в тілі підкріплюючої плити. В масиві шаруватого асфальтобетонного покриття вони зменшилися.

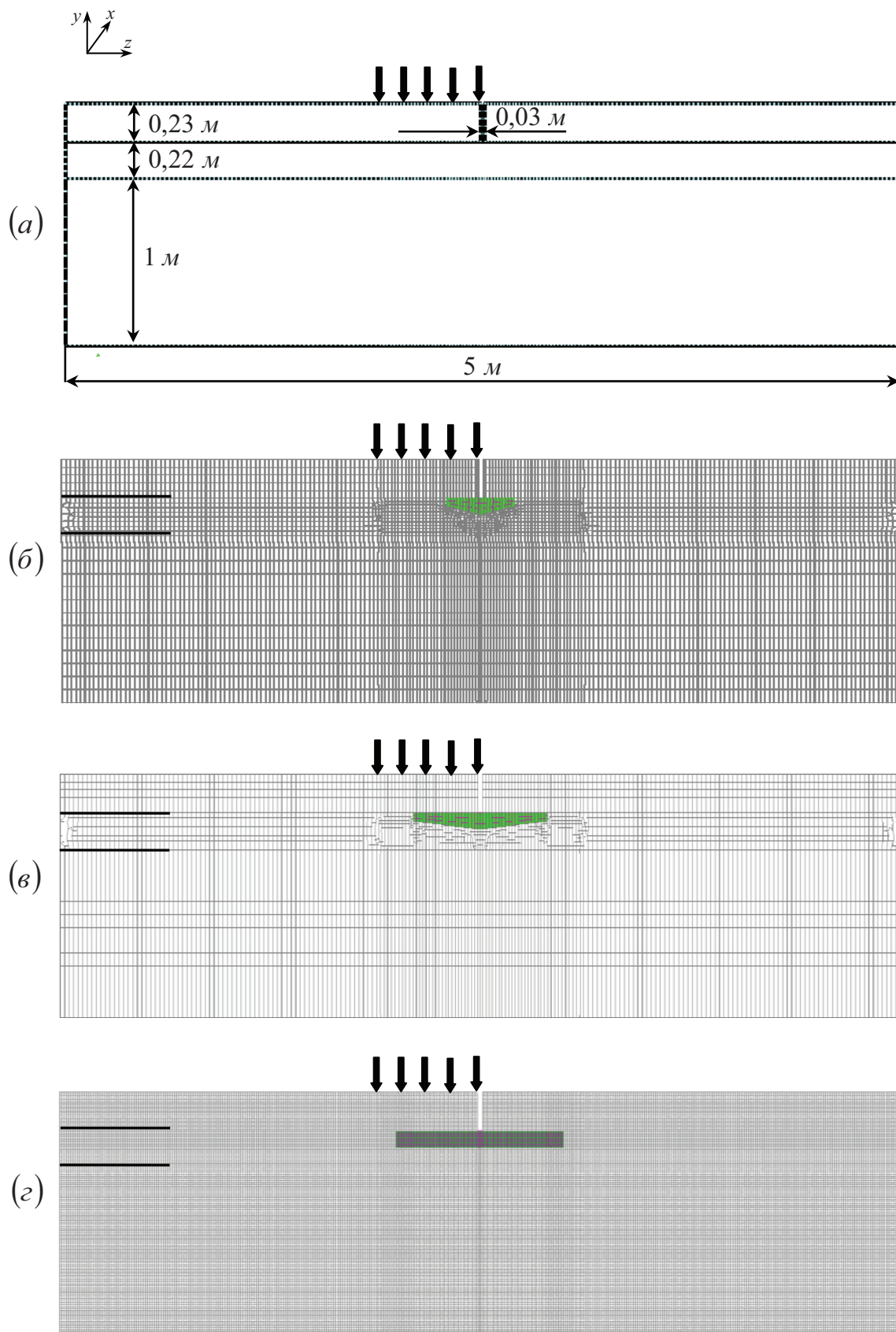


Рисунок 2 – Геометричні схеми дорожнього покриття з тріщиною, яка підкріплена плитою: а – вихідна геометрія; б – випадок 1; в– випадок 2; г– випадок 3
Figure 2 – Geometric schemes of road surface with a crack supported by a slab: a – initial geometry; б – case 1; в– case 2; г– case 3

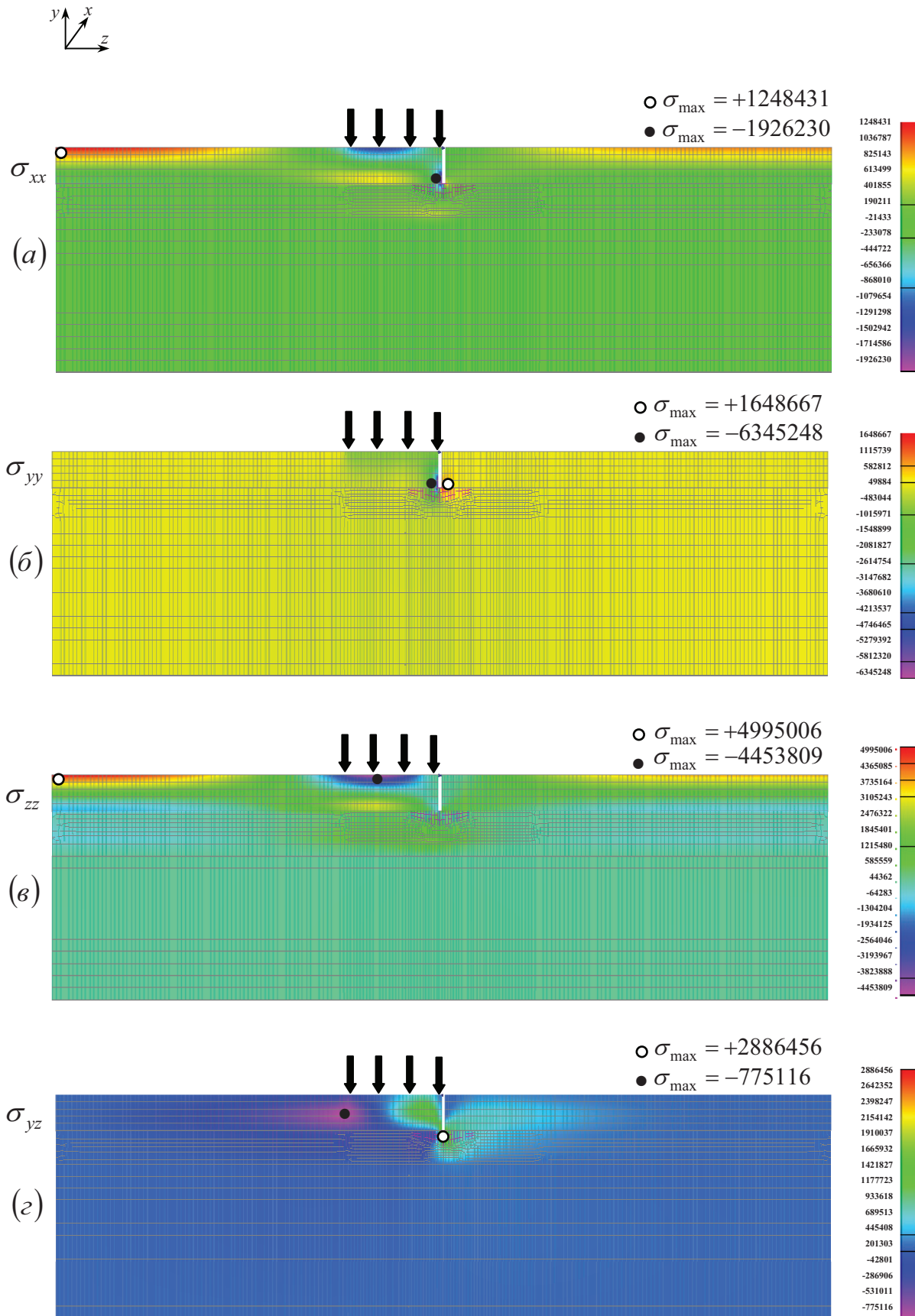


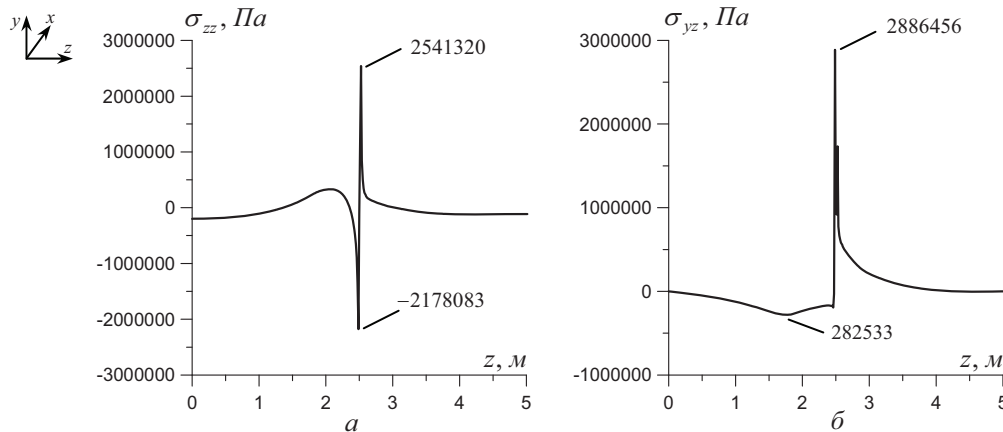
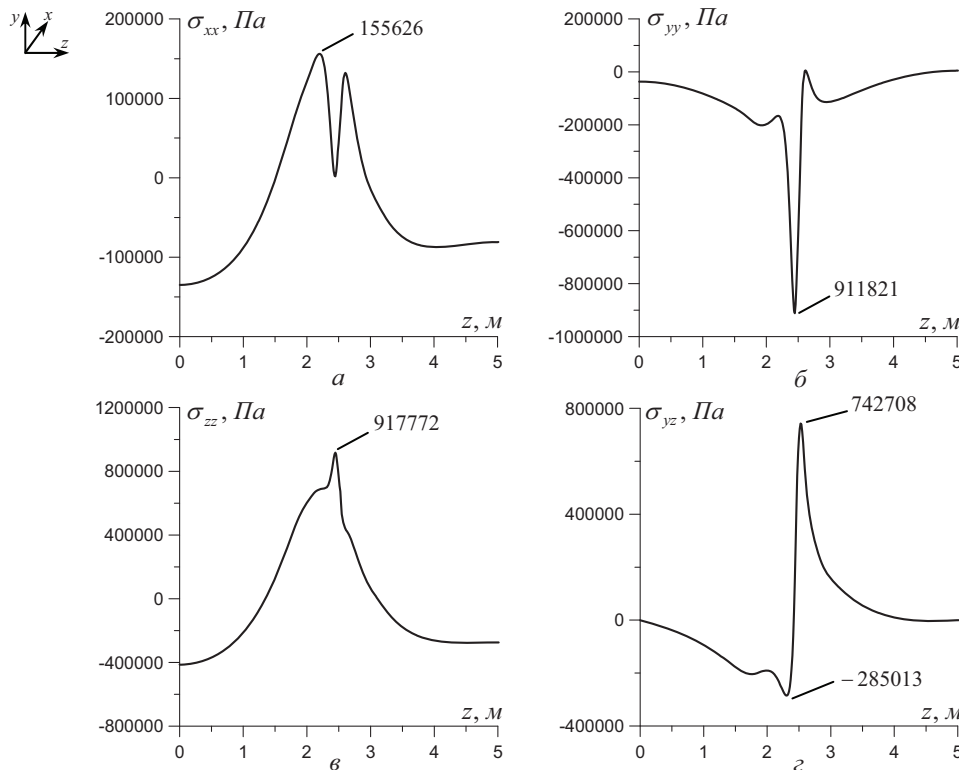
Рисунок 3 – Поля напружень σ_{xx} (а), σ_{yy} (б), σ_{zz} (в), σ_{yz} (г) в перерізі невідкріпленої дороги (випадок 1)

Figure 3 – Stress field σ_{xx} (a), σ_{yy} (б), σ_{zz} (в), σ_{yz} (г) in the section of an unreinforced road (case 1)

Таблиця 2. – Екстремальні значення розрахункових напружень

Table 2 – Extreme values of the calculated stresses

П/п	Розрахункова величина	$\sigma_{екстр}$ (розт.), Па	$\sigma_{екстр}$ (стис.), Па
1	σ_{xx}	1248431	1926230
2	σ_{yy}	1648667	6345248
3	σ_{zz}	4995006	4453809
4	σ_{yz}	2886456	75116

Рисунок 4 – Графіки розподілу функцій $\sigma_{zz}(z)$ (а) і $\sigma_{yz}(z)$ (б) в верхньому скінченно-елементному ряду другого шару невідкріпленої конструкції з розрізомFigure 4 – Charts of distribution of functions $\sigma_{zz}(z)$ (a) і $\sigma_{yz}(z)$ (б) in the upper finite-element series of the second layer of an unreinforced construction with a cutРисунок 5 – Графіки функцій $\sigma_{xx}(z)$ (а), $\sigma_{yy}(z)$ (б), $\sigma_{zz}(z)$ (в) і $\sigma_{yz}(z)$ (г) в скінченно-елементному ряду другого шару, що віддалений своєю нижньою стороною на 0,1 м від границі розділу між першим і другим шарами невідкріпленої конструкції з розрізомFigure 5 – Charts of functions $\sigma_{xx}(z)$ (a), $\sigma_{yy}(z)$ (б), $\sigma_{zz}(z)$ (в) і $\sigma_{yz}(z)$ (г) in the finite-element series of the second layer, which is distanced by its lower side by 0.1 m from the boundary between the first and second layers of an unreinforced construction with a cut

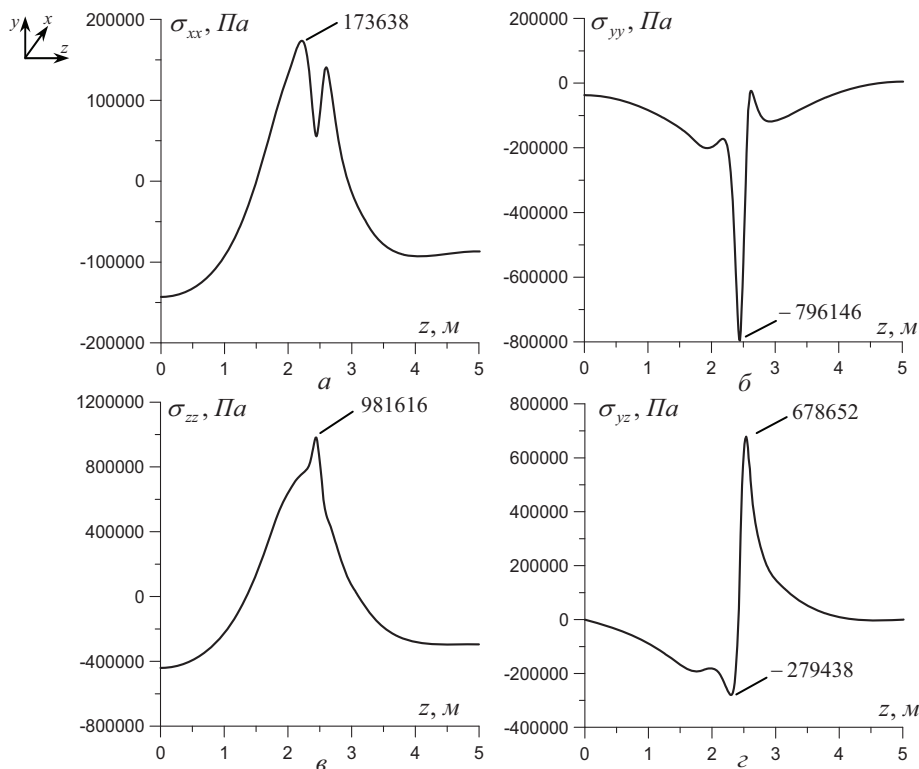


Рисунок 6 – Графіки функцій $\sigma_{xx}(z)$ (а), $\sigma_{yy}(z)$ (б), $\sigma_{zz}(z)$ (в) і $\sigma_{yz}(z)$ (г) в скінченно-елементному ряду другого шару, що віддалений своєю верхньою стороною на 0,1 м від границі розділу між першим і другим шарами непідкріпленої конструкції з розрізом

Figure 6 – Charts of functions $\sigma_{xx}(z)$ (а), $\sigma_{yy}(z)$ (б), $\sigma_{zz}(z)$ (в) і $\sigma_{yz}(z)$ (г) in the finite-element series of the second layer, which is distanced by its lower side by 0.1 m from the boundary between the first and second layers of an unreinforced construction with a cut

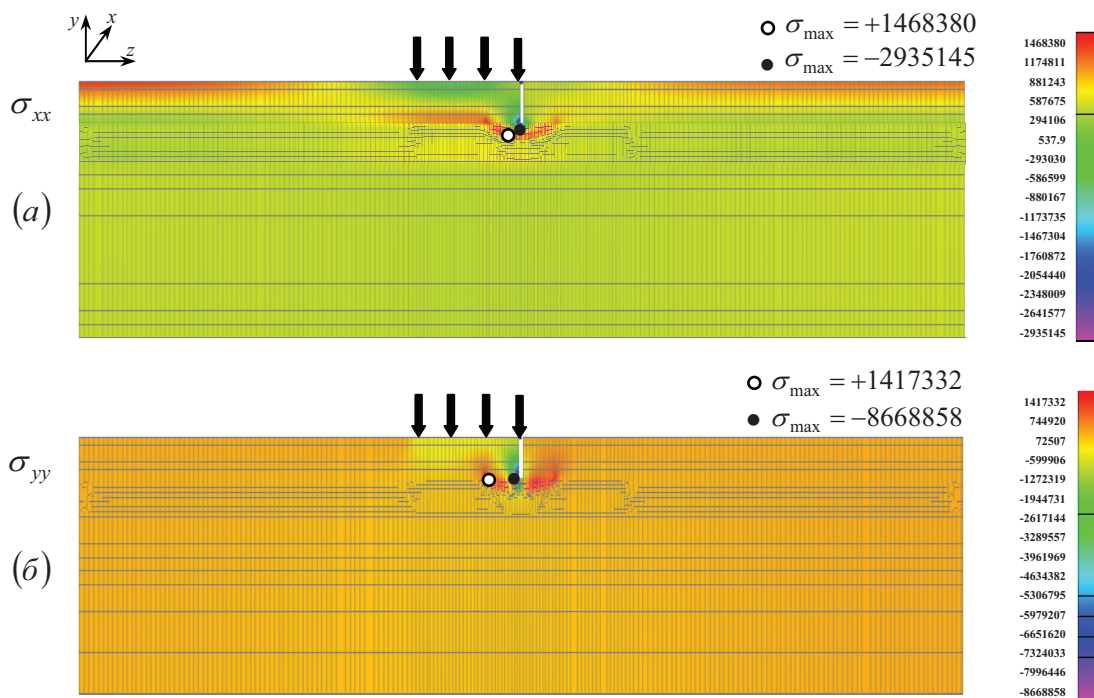


Рисунок 7 – Поля напружень σ_{xx} (а) і σ_{yy} (б) в перерізі дороги, яка підкріплена плитою (випадок 1, $E=10^{10}$ Па)

Figure 7 – Stress field σ_{xx} (а) and σ_{yy} (б) in the section of the road, which is supported by a slab (case 1, $E=10^{10}$ Pa)

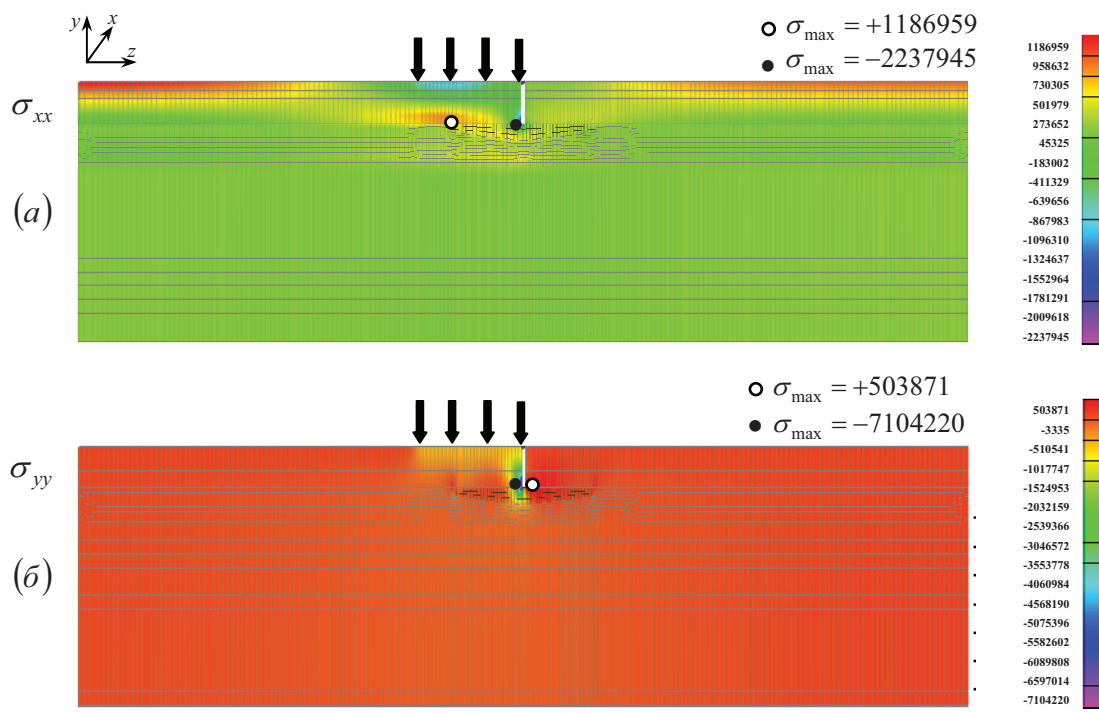


Рисунок 8 – Поля напружень σ_{xx} (а) і σ_{yy} (б) в перерізі дороги, яка підкріплена плитою
(випадок 2, $E=10^{10}$ Па)

Figure 8 – Stress field σ_{xx} (a) and σ_{yy} (б) in the section of the road, which is supported by a slab
(case 2, $E=10^{10}$ Pa)

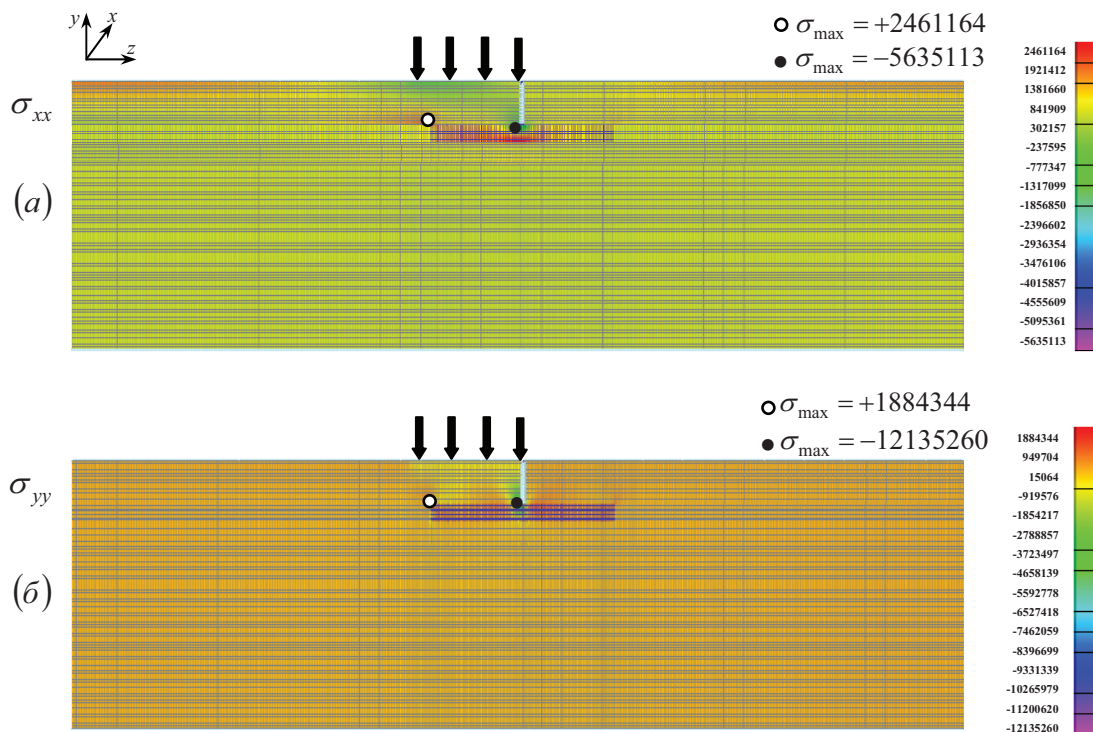


Рисунок 9 – Поля напружень σ_{xx} (а) і σ_{yy} (б) в перерізі дороги, яка підкріплена плитою
(випадок 3, $E=3 \cdot 10^{10}$ Па)

Figure 9 – Stress field σ_{xx} (a) and σ_{yy} (б) in the section of the road, which is supported by a slab
(case 3, $E=3 \cdot 10^{10}$ Pa)

Перебудова напружено-деформованого стану має місце помітніше зі збільшенням розмірів підкріплюючої плити. На рис. 9 показано поля напружень $\sigma_{xx}(z)$ і $\sigma_{yy}(z)$ для випадків підкріплення дорожньої конструкції прямокутною плитою шириною 1 м і товщиною 0,1 м. Рис. 9 відповідає плиті з модулем пружності $E=3 \cdot 10^{10}$ Па. Як видно, порівняно з випадком непідкріпленої конструкції (рис. 3) максимальні значення напружень практично не змінили своїх величин, а деякі навіть збільшилися. Проте при цьому максимальні напруження змістилися у внутрішню зону тіла плити, що не є небезпечним, так як матеріал плити є більш міцним порівняно з матеріалами шарів. Тут також підтверджується встановлена М.А. Рабіновичем [8] і А.В. Перельмутером [7] властивість статично невизначених систем збільшення рівня напружень в зонах конструкції, в яких матеріал замінений на більш жорсткий (з збільшеним модулем пружності E).

Таким чином комп'ютерні розрахунки показали, що включення плит з більш високими значеннями модуля пружності і граничними напруженнями в зоні концентрації напружень дорожнього покриття дозволяє локально зміцнити шарову конструкцію і підвищити загальну несну можливість системи.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Гудрамович В.С. Теория ползучести и ее приложения к расчету элементов тонкостенных конструкций. / В.С. Гудрамович – К. Наукова думка, 2005. – 221 с.
2. Гуляев В.І. Дослідження термонапруженого стану конструкцій дорожнього одягу / В.І.Гуляев, В.В.Гайдайчук, В.В. Мозговий, Ю.О.Заець, Л.В. Шевчук // Промислове будівництво та інженерні споруди. – 2017. - №1. – С. 6 – 12.
3. Зайцев Ю.В. Механика разрушения для строителей. / Ю.В. Зайцев. – М.: Высшая школа, 1991. – 288с.
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. Теория упругости. / В. Новацкий. – М.: Мир, 1975 – 872 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. Рабинович И.М. К теории статически неопределимых ферм. / И.М. Рабинович. – М.: Трансжелдориздат, 1933 – 120 с.
9. Чанг Н. Нелинейные сингулярно возмущенные краевые задачи. / Н. Чанг, Ф. Хауэс – М.: Мир, 1988. – 247 с.
10. Черепанов Г.П. Механика разрушения композиционных материалов. / Г.П. Черепанов. – М.: Наука, 1983. – 296 с.
11. Krishnan J.M., Rajagopal K.R. Review of the uses and modeling of bitumen from ancient to modern times. American society of mechanical engineers. // Appl Mech Rev. – 2003. - 56(2). – P. 149–214.
12. 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.
13. Radovsky B. Ways to reduce low-temperature cracking of asphalt pavements / B. Radovsky, V. Mozgovoj // 4-th Eurobitum Symposium. Summaries and papers. Madrid, 4-9 Oct. 1989. – Vol. 1. – P. 571-575.

REFERENCES

1. Hudramovych, V.S. (2005) Teoriya polzuchesty y ee prylozheniya k raschetu elementov tonkostennykh konstruktseyi [Theory of creep and its applications to the calculation of elements of thin-walled structures]. Kyiv: Naukova Dumka [in Russian].
2. Gulyayev, V. I., Gaydaychuk, V.V., Mozgoviy, V.V., Zaets, Yu. A., Shevchuk, L.V. (2017) Doslidzhennia termonapruzhеноho станu konstruktсии dorozhного 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].

3. Zaitsev, Yu.V. (1991). *Mehanika razrusheniya dlya stroiteley* [Fracture mechanics for builders]. Moskva: Vysshaya shkola [in Russian].
4. Kovalenko, A.D. (1970). *Osnovy termoprzhnosti* [Thermoelasticity fundamentals]. Kyiv: Naukova Dumka [in Russian].
5. Gulyayev, V. I., Koshel, P. Z., Zaets, Yu. A. (2014) *Mekhanika hornykh vyrabotok pry deistviy hravytatsyonnykh y dynamycheskykh nahruzok* [Mechanics of mine workings under the action of gravitational and dynamic loads]. Yvano-Frankovsk: Prykarp. nats. un-ta ym. V. Stefanyka [in Russian].
6. Novatskiy, V. (1975) *Teoriya uprugosti* [Theory of elasticity]. Moskva: Mir [in Russian].
7. Perelmuter, A.V. (1974) *O vliianii izmeneniia zhestokosti na pereraspredelenie usilii v staticheski neopredelimoj sisteme* [About influence of stiffness change on redistribution of stresses in a statically indeterminate system]. *Stroitelnaia mekhanika i raschet sooruzhenii* – [Mechanics of structures and analysis of buildings], 5,64-67 [in Russian].
8. Rabinovich, I.M. (1933) *K teorii staticheski neopredelimykh ferm* [On the theory of statically indeterminate trusses]. – Moskva: Transzheldorizdat [in Russian].
9. Chanh, N., Haues, F. (1988) *Nelyneinye synhuliarno vozmushchennyye kraevyye zadachy* [Nonlinear singularly perturbed boundary value problems]. Moskva: Mir [in Russian].
10. Cherepanov H.P. (1983). *Mehanika razrusheniya kompozitsionnykh materialov* [Механика разрушения композиционных материалов]. Moskva: Nauka [in Russian].
11. Krishnan J.M., Rajagopal K.R. Review of the uses and modeling of bitumen from ancient to modern times. *American society of mechanical engineers. // Appl Mech Rev.* – 2003. - 56(2). – P. 149–214.
12. 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.
13. Radovsky B. Ways to reduce low-temperature cracking of asphalt pavements / B. Radovsky, V. Mozgovoy // 4-th Eurobitum Symposium. Summaries and papers. Madrid, 4-9 Oct. 1989. – Vol. 1. – P. 571-575.

РЕФЕРАТ

Гуляєв В.І. Дослідження напружено-деформованого стану дорожнього одягу з укріпленою основою під поперечними тріщинами і швами / В.І. Гуляєв, В.В. Мозговий, О.О. Густелєв, Н.В. Шлюнь, О.М. Куцман, С.А. Баран // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник. – К.: НТУ, 2019. – Вип. 1 (43).

Поставлена задача про підкріплення плитою конструкції дороги розвантажуючим розрізом. Крім позитивного термодформованого ефекта під дією транспортних навантажень такі розрізи знижують загальну згинальну жорсткість конструкції, сприяючи концентрації нормальних і дотичних напружень в розглянутій зоні. Таке підкріплення конструкції запобігає подальше руйнування і розшарування дорожнього покриття.

Досліджено причини появи поперечних тріщин у верхньому шарі дорожнього покриття в зимовий час. Розглянуто випадки навантажень при плитах різної геометрії і ширини. Виконано скінченно-елементне дослідження перебудови напружень для випадку, коли транспортне навантаження розташоване асиметрично з однієї сторони розрізу. Розрахунок конструкції без розрізу показав, що під вибраним навантаженням найбільші розтягуючі напруження реалізуються на вільній поверхні покриття, найбільші за модулем стискаючі напруження мають місце в нижній точці розрізу. Порівняно з випадком непідкріпленої конструкції максимальні значення напружень практично не змінили своїх величини, а деякі навіть збільшилися. Проте максимальні напруження змістилися у внутрішню зону тіла плити, що не є небезпечним, так як матеріал плити є більш міцним порівняно з матеріалами шарів.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: АВТОМОБІЛЬНА ДОРОГА, АСФАЛЬТОБЕТОННЕ ПОКРИТТЯ, РОЗВАНТАЖУЮЧИЙ РОЗРІЗ, ПОПЕРЕЧНІ ТРІЩИНИ, ТРАНСПОРТНІ НАВАНТАЖЕННЯ, ПОЛЕ НАПРУЖЕНЬ, ТЕРМОНАПРУЖЕНИЙ СТАН.

ABSTRACT

Gulyayev V.I., Mozgoviy V.V., Gustieliev O.O., Shlyun N.V., Kutsman O. M., Baran S.A. Analysis of stress-strain state of a road overlay reinforced by support under transverse cracks and seams. *Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific and Technical Collection.* – Kyiv: National Transport University, 2019. – Issue 1 (43).

The problem of the plate reinforcing of road structure with unloading cut is stated. Besides a positive thermo-strain effect, such cuts reduce general bending stiffness of the structure generation concentration of normal and shear stresses in the considered zone. The proposed reinforcement of the structure averts further fracture and delamination of the road coat.

The reasons of the lateral cracks appearance in the top layer are considered for the upper layer of the road cover during winter season. The cases of loading for different geometry and plate widths are analysed. The finite-element investigation of stresses transformation is performed for the case when transport load is located asymmetrically with respect to one side of the cut. The calculation of the structure without the cut demonstrated that under action of the selected load the largest values of the stretching stresses are achieved in the free surface of the coating, while the bargest value of the stressing stress module takes place at the lowest point of the cut. Comparing with the case of unreinforced structure, the maximum values of the stresses did not change their magnitudes and some of them even enlarged. However maximum values of shresses shifted into the inner zone of the plate body that is not dangerous, as the plate material is stronger in comparison with the layers materials.

KEYWORDS: AUTOMOBILE ROAD, ASPHALT-CONCRETE COATING, LOADING RISK, TRACKED TRACKS, TRANSPORT LOADS, STRESS FIELD, THERMO ELASTIC STATE.

РЕФЕРАТ

Гуляев В.И. Исследование напряженно-деформированного состояния дорожной одежды из укрепленных оснований под поперечными трещинами и швами / В.И. Гуляев, В.В. Мозговой, А.А. Густелев, Н.В. Шлюнь, А.М. Куцман, С.А. Баран // Вестник Национального транспортного университета. Серия «Технические науки». Научно-технический сборник. – К.: НТУ, 2019. – Вып. 1 (43).

Поставленная задача о подкреплении плитой конструкции дороги с разгружающим разрезом. Кроме положительного термдеформированного эффекта под действием транспортных нагрузок такие разрезы снижают общую изгибную жесткость конструкции, способствуя концентрации нормальных и касательных напряжений в рассматриваемой зоне. Предложенные подкрепление конструкции предотвращает дальнейшее разрушение и расслоение дорожного покрытия.

Исследованы причины появления поперечных трещин в верхнем слое дорожного покрытия в зимнее время. Рассмотрены случаи нагружения при плитах разной геометрии и ширины. Выполнено конечно-элементное исследование перестройки напряжений для случая, когда транспортная нагрузка расположена асимметрично с одной стороны разреза. Расчет конструкции без разреза показал, что под выбранной нагрузкой наибольшее растягивающие напряжения реализуются на свободной поверхности покрытия, наибольшее по модулю сжимающие напряжения имеют место в нижней точке разреза. По сравнению со случаем неподкрепленной конструкции максимальные значения напряжений практически не изменили своих величины, а некоторые даже увеличились. Однако максимальные напряжения сместились во внутреннюю зону тела плиты, что не является опасным, так как материал плиты является более прочным по сравнению с материалами слоев.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: АВТОМОБИЛЬНАЯ ДОРОГА, АСФАЛЬТОБЕТОННОЕ ПОКРЫТИЕ, РАЗГРУЖАЮЩИЙ РАЗРЕЗ, ПОПЕРЕЧНЫЕ ТРЕЩИНЫ, ТРАНСПОРТНЫЕ НАГРУЗКИ, ПОЛЕ НАПРЯЖЕНИЙ, ТЕРМОНАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ.

АВТОРИ:

Гуляев Валерій Іванович, доктор технічних наук, Національний транспортний університет, професор, e-mail: valery@gulyayev.com.ua, тел. +38(044) 280-71-09, Україна, 01103, м. Київ, вул. М. Бойчука, 42, orcid.org/0000-0002-5388-006X.

Мозговий Володимир Васильович, доктор технічних наук, Національний транспортний університет, професор, e-mail: mozgoviy@gmail.com, тел. +38(044) 285-95-28, Україна, 01103, м. Київ, вул. М. Бойчука, 42, orcid.org/0000-0002-1032-8048.

Густелев Олександр Олександрович, Національний транспортний університет, здобувач, e-mail: gustelev_pao@ukr.net, тел. +38(044) 285-95-28, Україна, 01103, м. Київ, вул. М. Бойчука, 42, orcid.org/-0000-0001-8257-358X

Шлюнь Наталія Володимирівна, кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, асистент, e-mail: nataliyashlyun@gmail.com, тел. +38(044) 280-71-09, Україна, 01103, м. Київ, вул. М. Бойчука, 42, orcid.org/0000-0003-1040-8870.

Куцман Олександр Михайлович, Національний транспортний університет, старший викладач, e-mail: kutsmans@ukr.net, тел. +38(044) 285-95-28, Україна, 01103, м. Київ, вул. М. Бойчука, 42 orcid.org/0000-0002-4510-4570.

Баран Сергій Анатолійович, Національний транспортний університет, асистент, e-mail: baran_serg@ukr.net, тел. +38(044) 285-95-28, Україна, 01103, м. Київ, вул. М. Бойчука, 42 orcid.org/0000-0002-3591-9880.

AUTHORS:

Gulyayev V.I., Dr. Sci., National Transport University, tel. +38(044) 280-71-09, Ukraine, 01103, Kyiv, Boichuk str., 42, e-mail: valery@gulyayev.com.ua, orcid.org/0000-0002-5388-006X

Mozgovyy V.V., Dr. Sci., National Transport University, tel. +38(044) 285-95-28, Ukraine, 01103, Kyiv, Boichuk str., 42, e-mail: mozgoviy@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-1032-8048>

Gustieliev O.O., competitor for Ph.D, National Transport University, tel. +38(044) 285-95-28, Ukraine, 01103, Kyiv, Boichuk str., 42, e-mail: gustelev_pao@ukr.net, orcid.org/-0000-0001-8257-358X

Shlyun N.V., Ph.D., National Transport University, tel. +38(044) 280-71-09, Ukraine, 01103, Kyiv, Boichuk str., 42, e-mail: nataliyashlyun@gmail.com, orcid.org/0000-0003-1040-8870

Kutsman O.M., National Transport University, tel. +38(044) 285-95-28, Ukraine, 01103, Kyiv, Boichuk str., 42, e-mail: kutsmans@ukr.net, orcid.org/0000-0002-4510-4570

Baran S.A., asistent, National Transport University, tel. +38(044) 285-95-28, Ukraine, 01103, Kyiv, Boichuk str., 42, e-mail: baran_serg@ukr.net, orcid.org/0000-0002-3591-9880

АВТОРЫ:

Гуляев Валерий Иванович, доктор технических наук, Национальный транспортный университет, профессор, e-mail: valery@gulyayev.com.ua, тел. +38(044) 280-71-09, Украина, 01103, г. Киев, ул. М. Бойчука, 42, orcid.org/0000-0002-5388-006X.

Мозговой Владимир Васильевич, доктор технических наук, Национальный транспортный университет, профессор, e-mail: mozgoviy@gmail.com, тел. +38(044) 285-95-28, Украина, 01103, г. Киев, ул. М. Бойчука, orcid.org/0000-0002-1032-8048.

Густелев Александр Александрович, Национальный транспортный университет, соискатель, e-mail: gustelev_pao@ukr.net, тел. +38(044) 285-95-28, Украина, 01103, г. Киев, ул. М. Бойчука, 42, orcid.org/-0000-0001-8257-358X

Шлюнь Наталия Владимировна, кандидат технических наук, Национальный транспортный университет, ассистент, e-mail: nataliyashlyun@gmail.com, тел. +38(044) 280-71-09, Украина, 01103, г. Киев, ул. М. Бойчука, 42, orcid.org/0000-0003-1040-8870.

Куцман Александр Михайлович, Национальный транспортный университет, старший преподаватель, e-mail: kutsmans@ukr.net, тел. +38(044) 285-95-28, Украина, 01103, г. Киев, ул. М. Бойчука, 42 orcid.org/0000-0002-4510-4570.

Баран Сергей Анатольевич, Национальный транспортный университет, ассистент, e-mail: baran_serg@ukr.net, тел. +38(044) 285-95-28, Украина, 01103, г. Киев, ул. М. Бойчука, 42 orcid.org/0000-0002-3591-9880.

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Луговий П.З., доктор технічних наук, професор, Інститут механіки ім. С. П. Тимошенка НАН України, завідувач відділу будівельної механіки тонкостінних конструкцій, Київ, Україна.

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

REVIEWERS:

Lugovyy P.Z., Dr. Sc. (Engineering), Professor S. P. Timoshenko Institute of Mechanics, Head of Department of Building Mechanics of Thin-Walled Structures, Kyiv, Ukraine.

Loza I.A., Dr. Sc. (Physics and Mathematics), Professor, National Transport University, Head of Department of Theoretical and Applied Mechanics, Kyiv, Ukraine.