

УДК 539.3  
UDK 539.3

DOI:10.33744/0365-8171-2025-117.2-147-159

**ВПЛИВ ПОЛОЖЕННЯ ОСЬОВОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА  
НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН ЦЕМЕНТОБЕТОННОЇ ПЛИТИ  
ЖОРСТКОГО ДОРОЖНЬОГО ОДЯГУ**

**INFLUENCE OF AXIAL LOAD POSITION ON THE STRESS-STRAIN STATE OF CONCRETE  
SLAB OF RIGID PAVEMENT**



*Онищенко Артур Миколайович, доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, завідувач кафедри мостів, тунелів та гідротехнічних споруд. Київ, Україна, e-mail: [onyshchenko.a.m.ntu@gmail.com](mailto:onyshchenko.a.m.ntu@gmail.com),*

<https://orcid.org/0000-0002-1040-4530>



*Соловійов Ігор Леонідович, кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, кафедра теоретичної та прикладної механіки. Київ, Україна, e-mail: [i.soloviov@ntu.edu.ua](mailto:i.soloviov@ntu.edu.ua)*

<https://orcid.org/0000-0001-5203-4139>



*Худолій Сергій Миколайович, кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, кафедра вищої математики. Київ, Україна, e-mail: [s\\_hoodoliy@i.ua](mailto:s_hoodoliy@i.ua)*

<https://orcid.org/0000-0001-6054-6708>



*Соловійов Віталій Ігорович, магістрант, Національний транспортний університет, Київ, Україна e-mail: [vitalikyou@ukr.net](mailto:vitalikyou@ukr.net)*

<https://orcid.org/0009-0007-6543-6998>

**Анотація.** Стаття присвячена аналізу напружено-деформованого стану конструкції жорсткого дорожнього одягу влаштованого на багат шаровій основі в залежності від різних варіантів розташування осьового транспортного навантаження та конструктивних особливостей цементобетонного шару.

Враховуючи те, що на цементобетонне покриття автомобільної дороги діє складне просторове навантаження, доцільно використати числовий метод визначення напружено-деформованого стану покриття, що базується на розв'язанні рівнянь теорії пружності – методу скінченних елементів як найбільш універсального і ефективного. Його особливістю є безпосередній перехід від континуального об'єкту до дискретного аналізу шляхом ділення області об'єкту, який досліджується на ряд підобластей та апроксимації полів переміщень, зусиль, напружень, наприклад, з використанням інженерно-розрахункового комплексу. Розглянуто три варіанта розташування транспортного навантаження. В результаті виконаного числового моделювання проведено аналіз напружено-деформованого стану цементобетонного покриття з урахуванням різних розрахункових параметрів, що дозволяє встановити області концентрації напружень та прогнозувати характер руйнування цементобетонного покриття.

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

**Вступ.** У сучасному світі розвиток транспортної інфраструктури є ключовим чинником економічного зростання, ефективної логістики та мобільності населення. Проте останні роки характеризуються значним зростанням інтенсивності руху на автомобільних дорогах, що супроводжується не лише збільшенням загальної кількості транспортних засобів, а й підвищенням частки великовантажного транспорту — багатовісних автопоїздів, вантажівок з великою вантажопідйомністю. Ці фактори спричиняють передчасне утворення тріщин, колій, просідання та інших деформацій, що знижує експлуатаційний ресурс доріг. Вимушені і незаплановані ремонти призводять до погіршення умов проїзду та безпеки руху, утворенню заторів, значного зменшення фактичної пропускної здатності доріг, зменшенню продуктивності роботи автотранспорту. Частковим рішенням цієї проблеми може стати використання цементобетону для покриття автомобільних доріг. Цементобетон є набагато витривалішим до дії повторних навантажень, ніж асфальтобетон. Тому його застосовують на напружених маршрутах: підходах до морських портів, елеваторів, кар'єрів, аеропортів, митниць, стоянок великовагових транспортних засобів, логістичних центрів, об'їзних дорогах крупних населених пунктів, дорогах промислових підприємств, маршрутах руху контейнерів та зерновозів.

**Постановка проблеми.** Багаторічні спостереження за експлуатацією цементобетонних покриттів, а також аналіз зарубіжного досвіду дозволяє об'єктивно оцінити недоліки покриттів даного типу, головними з яких є тріщиноутворення в результаті дії: усадки, коливання температури добової та річної, перемінного заморожування – відтавання води в порах і ушкоджених місцях, динамічного навантаження від коліс транспортних засобів, руйнування кромки деформаційних швів цементобетонного покриття та його здиблення.

Як відомо, умови роботи цементобетонного покриття в різних його зонах (в центрі плити, по краях, торцях, кутах плити, полосі накату тощо) значно різняться. Це спричиняє можливість накопичення залишкових деформацій основи та часткового порушення контакту із основою, особливо це проявляється по краях та в зонах поперечних швів

В роботі [1] було проведено чисельне моделювання напружено деформованого стану конструкції жорсткого дорожнього одягу при положеннях транспортного навантаження у вигляді одиничного колеса запропонованих в [2] для розрахунку на міцність, а саме в центрі бетонної плити, посередині повздовжнього шва, посередині поперечного шва та в куті плити на перетині повздовжнього та поперечного швів. Дана робота присвячена дослідженню напружено-деформованого стану плити при русі осевого транспортного навантаження вздовж полоси накату.

Утворення тріщин в цементобетонному покритті порушують цілісність та монолітність дорожньої конструкції, розділяючи її на окремі блоки, не пов'язані між собою, кількість і протяжність утворених тріщин, що утворилися на покритті, майже не впливають на рух автомобілів до тих пір, поки не утворилися вибоїни та викришування, що призводить до погіршення рівності покриття, зниження рівня безпеки руху та створення аварійно – небезпечних ситуацій. Як наслідок, збільшуються витрати на утримання та ремонт цементобетонного покриття автомобільних доріг, які зазнають передчасних

руйнувань. У зв'язку з цим досить актуальною є проблема розробки більш точних математичних моделей деформування дорожніх одягів жорсткого типу в залежності від різного варіанту розташування навантаження та конструктивних особливостей плити.

**Мета роботи.** Мета роботи полягає в проведенні моделювання методом скінчених елементів напружено - деформованого стану цементобетонного покриття автомобільної дороги, яке влаштоване на багат шаровій основі і містить деформаційні шви між плитами, в залежності від різних варіантів розташування навантаження відносно деформаційних швів та конструктивних особливостей цементобетонного покриття таких як його модуль пружності та товщина.

**Об'єктом дослідження** є цементобетонне покриття автомобільних доріг.

**Основна частина.** Розглянемо конструкцію жорсткого дорожнього одягу що складається з бетонних плит на багат шаровій основі. Розмір плит вздовж напрямку руху транспорту складає 5 м та в поперечному напрямку 3 м. Між плитами влаштовані шви розширення, шви стиснення та повздовжні шви (Рис. 1). Прийемо припущення що шви влаштовані на всю товщину плити та не укріплені штирями. Осьове транспортне навантаження моделюється двома відбитками коліс через які на плиту передається тиск. Товщини та механічні властивості шарів основи та бетонної плити наведено в таблиці 1. В чисельних розрахунках товщина бетонної плити  $h$  варіювалася від 18 см до 26 см з кроком 4 см. Модуль пружності  $E$  цементобетону мав значення 30000 МПа, 35000 МПа, 40000 МПа.

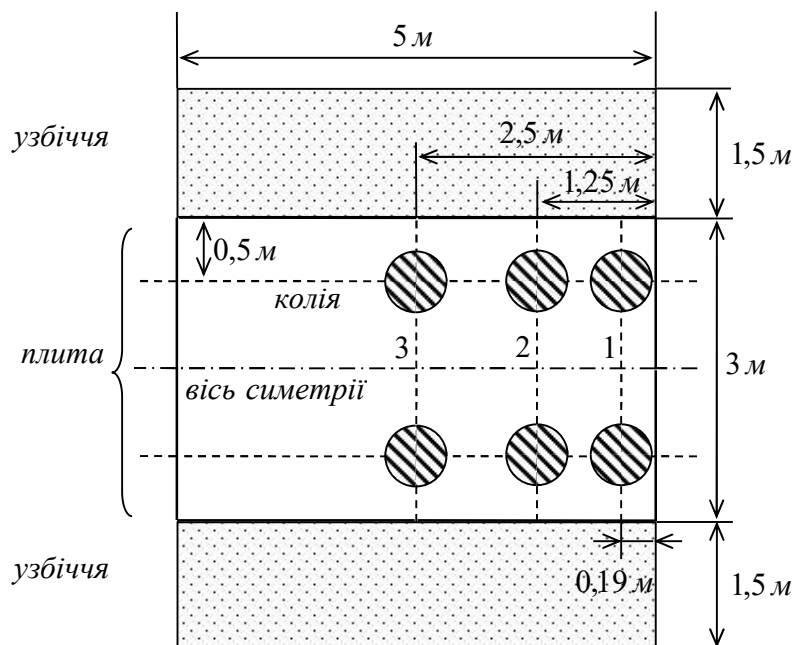


Рисунок 1 – Схема цементобетонного покриття  
Figure 1 – Scheme of concrete coating

Таблиця 1 – Механічні властивості та товщини шарів конструкції жорсткого дорожнього одягу  
Table 1 – Mechanical properties and thicknesses of the layers of the construction of hard road clothing

№	шар	$h_i$ , см	Модуль пружності (Мпа)	Коефіцієнт Пуасона	Щільність $kg/m^3$
1	Важкий бетон класу В25 ПЗ F200 W6	18 -26	30000 - 40000	0,18	2800
2	Щебенево-піщана суміш С7	17,5	400	0,3	2000
3	Щебенево-піщана суміш С5	15	320	0,3	2000
4	Пісок середньої крупності	10	120	0,28	2000
5	Існуюче земляне полотно (супісок пилуватий)	80	48	0,3	2000

Виділимо для розгляду фрагмент конструкції дорожнього одягу, який містить одну плиту шириною 3 м та довжиною 5 м яка лежить на багат шаровій дорожній основі шириною 6 м та довжиною також 5 м (Рис. 2). Припустимо що колії розташовані на відстані 0,5 м від країв плити (що відповідає відстані між колесами автомобіля 2 м). Тоді виділений фрагмент конструкції має і геометричну симетрію і симетричне навантаження відносно вертикальної площини що проходить через вісь симетрії плити яка паралельна напрямку руху, отже можна розглянути модель половини виділеного фрагмента з умовами симетрії, що накладено на вузли які знаходяться в площині симетрії (Рис. 3).



**Рисунок 2** – Варіанти розташування транспортного навантаження на бетонній плиті  
**Figure 2** – Variants of transport load location on a concrete slab

Вважаємо, що транспортне навантаження на конструкцію – це тиск  $p$ , що передається від гумового колеса транспортного засобу на круглий відбиток діаметру  $D$ . В розрахунках приймалося що  $p = 1$  МПа,  $D = 34,5$  см. Крім транспортного навантаження на конструкцію діє гравітаційне навантаження від її власної ваги в вертикальному напрямку (вздовж осі  $Oz$  Рис. 3.). Вісь автомобіля поступово проходить положення 1, 2, 3 в напрямку руху що знаходяться на відстанях 0,19 м, 1,25 м, 2,5 м від краю плити відповідно.(Рис. 2).

Розглянемо три варіанти розташування статичного транспортного навантаження (Рис. 2):

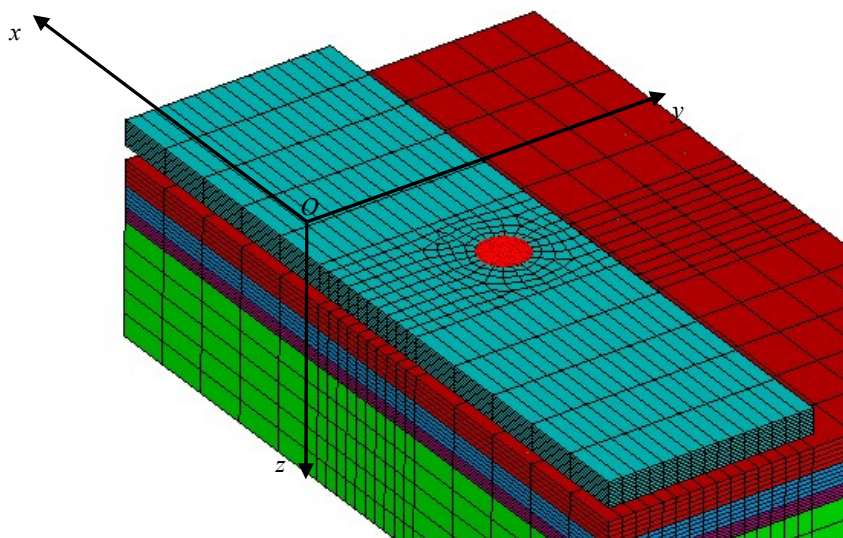
Варіант №1 – відбиток колеса знаходиться на колії на відстані 0,19 м від краю плити;

Варіант №2 – відбиток колеса знаходиться на колії на відстані 1,25 м від краю плити;

Варіант №3 – відбиток колеса знаходиться на колії на відстані 2,5 м від краю плити;

Розглянемо скінчено-елементну модель даної конструкції. Осі  $Ox$  (паралельна напрямку руху) та  $Oy$  розташовані в горизонтальній площині (верхня грань бетонної плити), початок координат знаходиться в центрі плити, вісь  $Oz$  направлена вертикально вниз. Між плитою та основою влаштовано контакт з коефіцієнтом тертя 0,5 (Рис. 3). Щоб підкреслити наявність контактної взаємодії на цьому та подальших малюнках плита відокремлена умовним проміжком від багат шарової основи.

На найнижчу грань багатшарової основи що знаходиться в площині  $z = \sum h_i$  накладено умову заборони переміщень. На вертикальні грані багатшарової основи накладено умові заборони преміщень у перпендикулярному до них напрямку та умови симерії на грань що відповідає площині симетрії. В роботі [3] було проведено дослідження впливу різних граничних умов при моделюванні конструкції дорожнього одягу і зроблено висновок про можливість використання таких граничних умов як деякого наближення до реальних граничних умов. На найвищу горизонтальну грань основи та на нижню горизонтальну грань плити накладено умови контакту. Всі інші грані бетонної плити вільні від обмежень.



*Рисунок 3* – Скінченоелементна модель половини виділеного фрагменту конструкції жорсткого дорожнього одягу

*Figure 3* – Finite element model of half of the selected fragment of the rigid pavement structure

Результати розрахунків з варіюванням товщини плити та модуля її пружності проведених для варіантів навантаження 1-3 приведено в Таблицях 2-4 відповідно.

На рис. 4 - 6 показано поля повних переміщень у вузлах та напружень у елементах моделі для різних положень транспортного навантаження для випадку товщини плити  $h=18$  см та модуля пружності бетону  $E=30000$  МПа.

**Таблиця 2** – Максимальні переміщення вузлів  $u_z$ , максимальні значення складових тензора напружень  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$ ,  $\sigma_z$ ,  $\tau_{xy}$ ,  $\tau_{yz}$ ,  $\tau_{xz}$  та максимальні еквівалентні напруження за Мізесом  $\sigma_M$  в елементах скінчоелементної моделі конструкції жорсткого покриття для варіанту транспортного навантаження №1 при різних значеннях модуля пружності  $E$  та товщини бетонної плити  $h$ .

**Table 2** – Maximum displacements of nodes  $u_z$ , maximum values of the components of the stress tensor  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$ ,  $\sigma_z$ ,  $\tau_{xy}$ ,  $\tau_{yz}$ ,  $\tau_{xz}$  and maximum equivalent Mises stresses  $\sigma_M$  in the elements of the finite element model of the rigid pavement structure for the transport load variant №1 at different values of the modulus of elasticity  $E$  and thickness of the concrete slab  $h$ .

Модуль пружності $E$ , МПа	Товщина $h$ , см	Максимальні значення складових тензора напружень в елементах скінчоелементної моделі									$\sigma_M$ , МПа	$u_z$ , мм
		$\sigma_x$ , МПа		$\sigma_y$ , МПа		$\sigma_z$ , МПа		$ \tau_{xy} $ , МПа	$ \tau_{yz} $ , МПа	$ \tau_{xz} $ , МПа		
		стиск.	розтяг.	стиск.	розтяг.	стиск.	розтяг.	max	max	max		
30000	18	-1,28	1,31	-3,95	3,57	-1,15	0,115	0,835	1,03	0,92	3,85	1,42
	22	-1,12	1,15	-2,91	2,59	-1,14	0,092	0,636	0,828	0,706	2,73	1,34
	26	-0,97	1,01	-2,27	1,91	-1,13	0,075	0,518	0,682	0,676	2,12	1,27
35000	18	-1,38	1,41	-4,01	3,73	-1,16	0,118	0,855	1,05	0,933	3,39	1,4
	22	-1,19	1,22	-2,94	2,53	-1,14	0,092	0,649	0,841	0,707	2,76	1,31
	26	-1,07	1,1	-2,29	1,94	-1,13	0,075	0,526	0,69	0,403	2,13	1,25
40000	18	-1,47	1,49	-4,06	3,79	-1,15	0,12	0,871	1,07	0,946	3,96	1,38
	22	-1,26	1,29	-2,97	2,55	-1,14	0,092	0,66	0,852	0,707	2,78	1,29
	26	-1,15	1,18	-2,3	1,95	-1,13	0,075	0,534	0,697	0,676	2,14	1,23

**Таблиця 3** – Максимальні переміщення вузлів  $u_z$ , максимальні значення складових тензора напружень  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$ ,  $\sigma_z$ ,  $\tau_{xy}$ ,  $\tau_{yz}$ ,  $\tau_{xz}$  та максимальні еквівалентні напруження за Мізесом  $\sigma_M$  в елементах скінчоелементної моделі конструкції жорсткого покриття для варіанту транспортного навантаження №2 при різних значеннях модуля пружності  $E$  та товщини бетонної плити  $h$ .

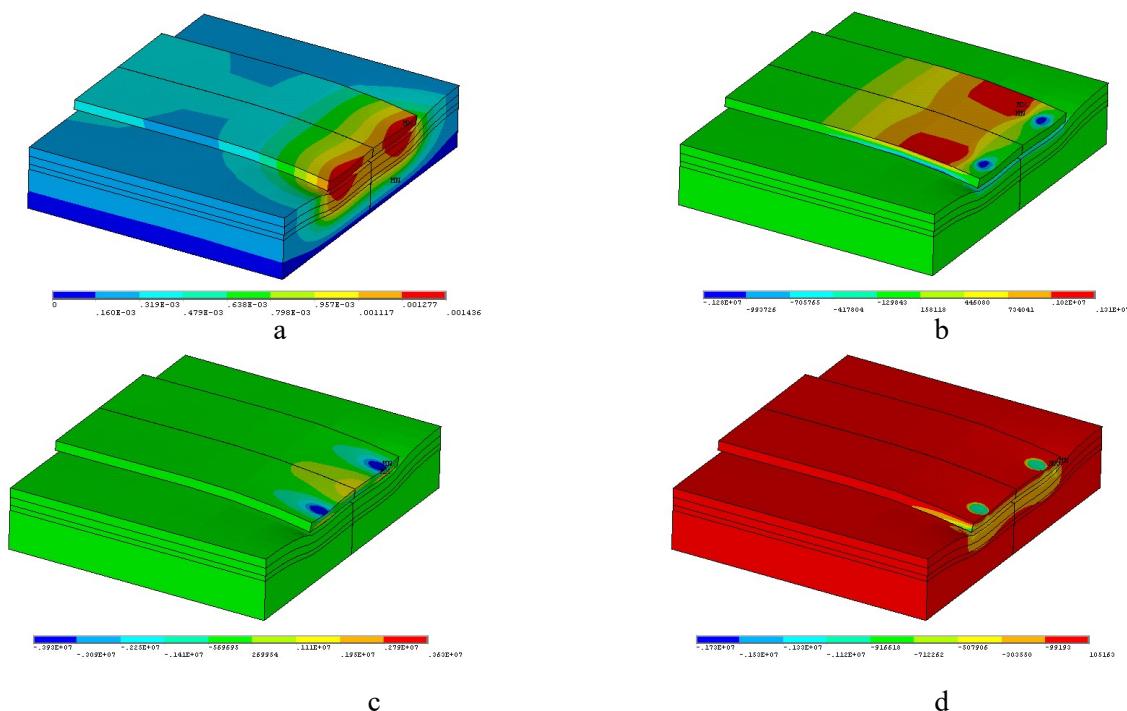
**Table 3** – Maximum displacements of nodes  $u_z$ , maximum values of the components of the stress tensor  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$ ,  $\sigma_z$ ,  $\tau_{xy}$ ,  $\tau_{yz}$ ,  $\tau_{xz}$  and maximum equivalent Mises stresses  $\sigma_M$  in the elements of the finite element model of the rigid pavement structure for the transport load variant №2 at different values of the modulus of elasticity  $E$  and thickness of the concrete slab  $h$ .

Модуль пружності $E$ , МПа	Товщина $h$ , см	Максимальні значення складових тензора напружень в елементах скінчоелементної моделі									$\sigma_M$ , МПа	$u_z$ , мм
		$\sigma_x$ , МПа		$\sigma_y$ , МПа		$\sigma_z$ , МПа		$ \tau_{xy} $ , МПа	$ \tau_{yz} $ , МПа	$ \tau_{xz} $ , МПа		
		стиск.	розтяг.	стиск.	розтяг.	стиск.	розтяг.	max	max	max		
30000	18	-3,34	3,13	-2,7	2,53	-1,18	0,055	0,449	0,189	0,197	2,96	0,75
	22	-2,51	2,35	-2,0	1,78	-1,15	0,055	0,320	0,184	0,184	2,19	0,72
	26	-2,13	1,82	-1,59	1,3	-1,13	0,055	0,254	0,183	0,177	1,68	0,7
35000	18	-3,44	3,24	-2,74	2,57	-1,18	0,055	0,457	0,190	0,200	3,04	0,74
	22	-2,58	2,43	-2,02	1,8	-1,15	0,051	0,324	0,184	0,185	2,24	0,70
	26	-2,18	1,87	-1,6	1,32	-1,13	0,055	0,256	0,183	0,178	1,71	0,69
40000	18	-3,53	3,34	-2,77	2,51	-1,18	0,055	0,463	0,190	0,202	3,11	0,73
	22	-2,73	2,49	-2,04	1,82	-1,15	0,051	0,328	0,184	0,186	2,29	0,7
	26	-2,22	1,91	-1,50	1,32	-1,13	0,055	0,258	0,183	0,179	1,74	0,68

**Таблиця 4** – Максимальні переміщення вузлів  $u_z$ , максимальні значення складових тензора напружень  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$ ,  $\sigma_z$ ,  $\tau_{xy}$ ,  $\tau_{yz}$ ,  $\tau_{xz}$  та максимальні еквівалентні напруження за Мізесом  $\sigma_M$  в елементах скінченоелементної моделі конструкції жорсткого покриття для варіанту транспортного навантаження №3 при різних значеннях модуля пружності  $E$  та товщини бетонної плити  $h$ .

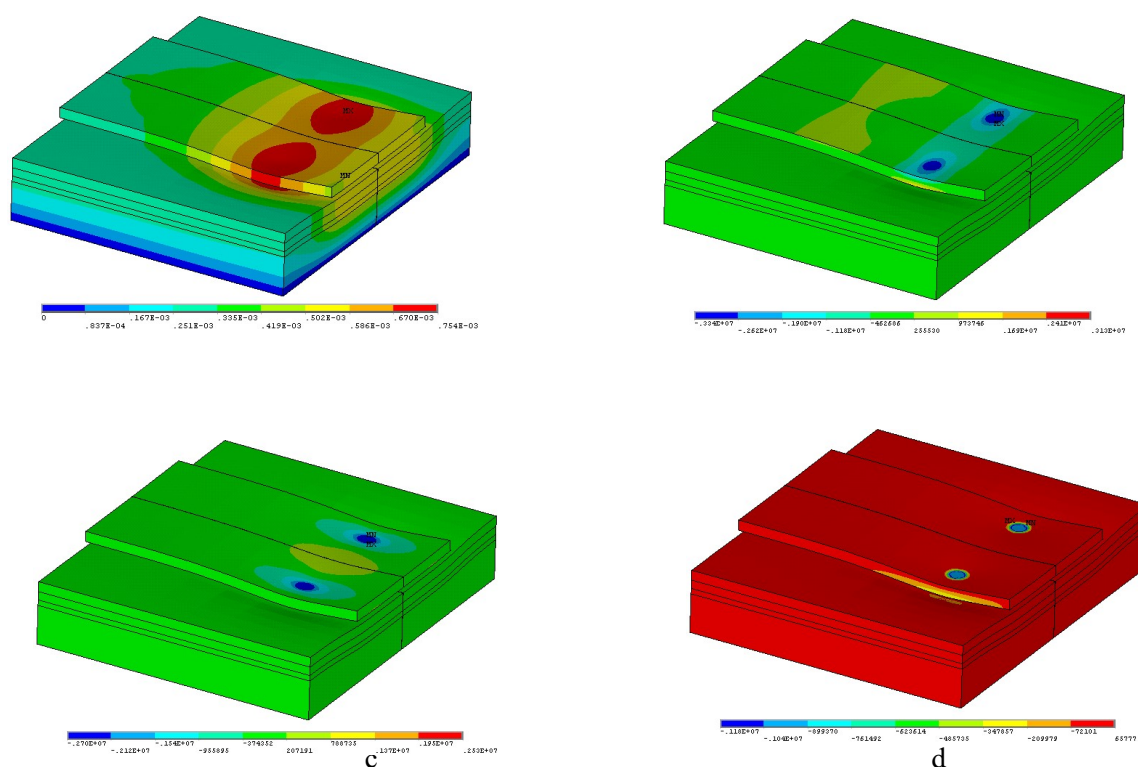
**Table 4** – Maximum displacements of nodes  $u_z$ , maximum values of the components of the stress tensor  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$ ,  $\sigma_z$ ,  $\tau_{xy}$ ,  $\tau_{yz}$ ,  $\tau_{xz}$  and maximum equivalent Mises stresses  $\sigma_M$  in the elements of the finite element model of the rigid pavement structure for the transport load variant №3 at different values of the modulus of elasticity  $E$  and thickness of the concrete slab  $h$ .

Модуль пружності $E$ , МПа	Товщина $h$ , мм	Максимальні значення складових тензора напружень в елементах скінченоелементної моделі									$\sigma_M$ , МПа	$u_z$ , мм
		$\sigma_x$ , МПа		$\sigma_y$ , МПа		$\sigma_z$ , МПа		$ \tau_{xy} $ , МПа	$ \tau_{yz} $ , МПа	$ \tau_{xz} $ , МПа		
		стиск.	розтяг.	стиск.	розтяг.	стиск.	розтяг.	max	max	max		
30000	18	-3,4	3,19	-2,71	2,53	-1,17	0,055	0,45	0,554	0,188	2,96	0,75
	22	-2,75	2,47	-2,0	1,78	-1,15	0,052	0,322	0,453	0,178	2,19	0,71
	26	-2,32	1,99	-1,59	1,3	-1,13	0,058	0,246	0,381	0,173	1,68	0,68
35000	18	-3,56	3,33	-2,73	2,57	-1,17	0,055	0,458	0,558	0,190	3,04	0,73
	22	-2,85	2,58	-2,02	1,8	-1,15	0,052	0,327	0,455	0,179	2,24	0,69
	26	-2,4	2,07	-1,6	1,32	-1,14	0,058	0,249	0,382	0,174	1,71	0,67
40000	18	-3,58	3,44	-2,76	2,5	-1,17	0,055	0,465	0,561	0,192	3,11	0,72
	22	-2,94	2,57	-2,04	1,82	-1,15	0,052	0,331	0,456	0,180	2,29	0,68
	26	-2,47	2,15	-1,51	1,33	-1,14	0,058	0,251	0,383	0,175	1,74	0,66



**Рисунок 4** – Поле повних переміщень вузлів моделі (а) та напружень  $\sigma_x$  (b),  $\sigma_y$  (c),  $\sigma_z$  (d) в елементах моделі для варіанту розміщення транспортного навантаження №1

**Figure 4** – Distribution of total displacements of model nodes (a) and stresses  $\sigma_x$  (b),  $\sigma_y$  (c),  $\sigma_z$  (d) in model elements for transport load placement option №1



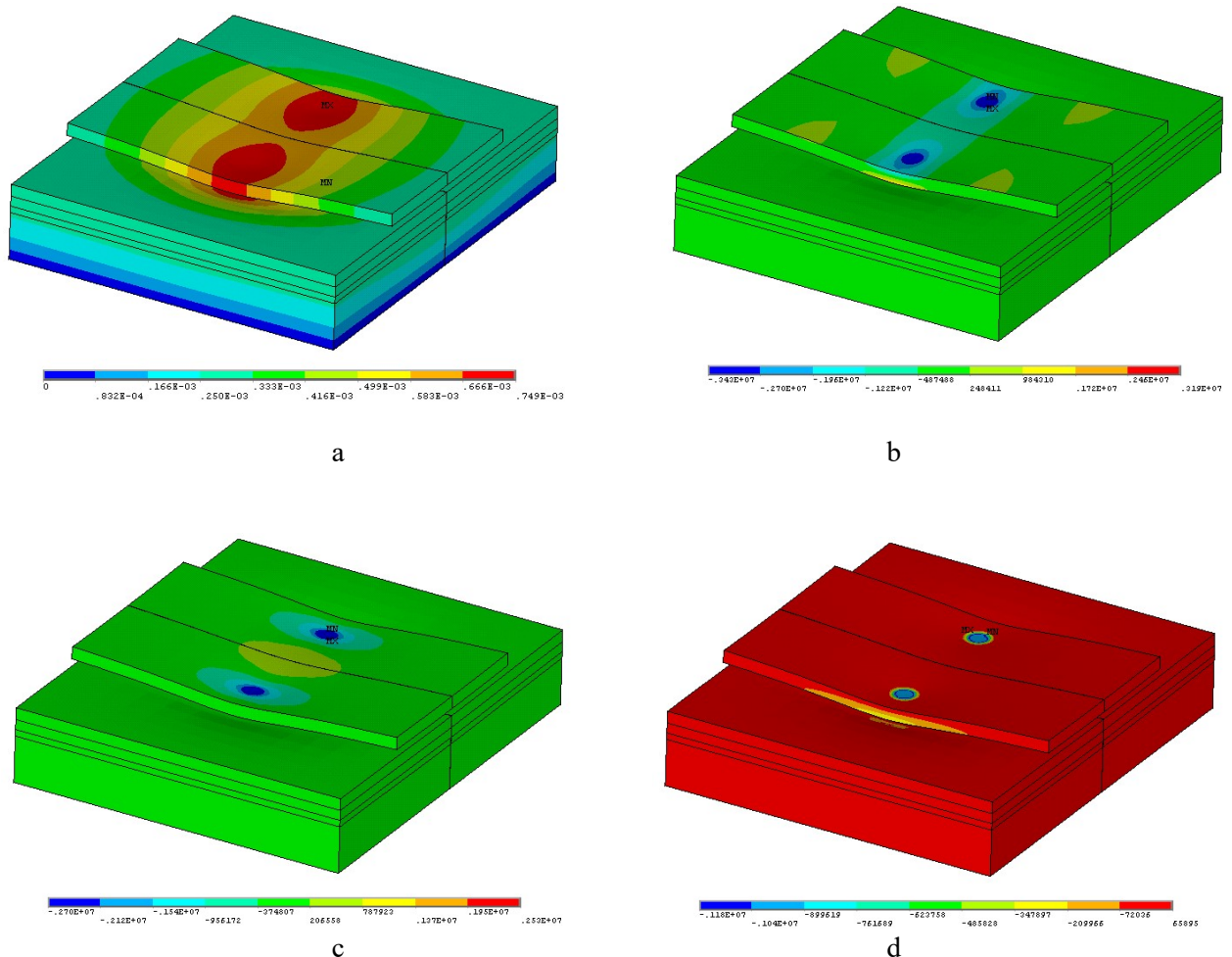
**Рисунок 5** – Поле повних переміщень вузлів моделі (a) та напружень  $\sigma_x$  (b),  $\sigma_y$  (c),  $\sigma_z$  (d) в елементах моделі для варіанту розміщення транспортного навантаження №2  
**Figure 5** – Distribution of total displacements of model nodes (a) and stresses  $\sigma_x$  (b),  $\sigma_y$  (c),  $\sigma_z$  (d) in model elements for transport load placement option №2

Хоча розрахунок проводився для половини моделі з умовами симетрії, на малюнку зображено ці поля для повного виділеного фрагмента за рахунок дзеркального відображення отриманих результатів відносно площини симетрії.

На Рис. 7-8 показано поля напружень тільки для елементів частини цементобетонної плити. Щоб показати розподіл напружень в поперечному перетині під штампом зроблено умовний перетин моделі плити площиною що проходить через центр штампу і частину плити умовно відкинута. Dodatні значення відповідають розтягу, від’ємні стиску.

Для всіх варіантів навантаження максимальний прогин плити знаходиться під штампом. Хоча для варіанту 1 він майже в 2 рази більший за прогин для варіанту 2 та 3. Відриву плити від основи не спостерігається, тобто для всіх точок плити зберігається умова контакту з основою.

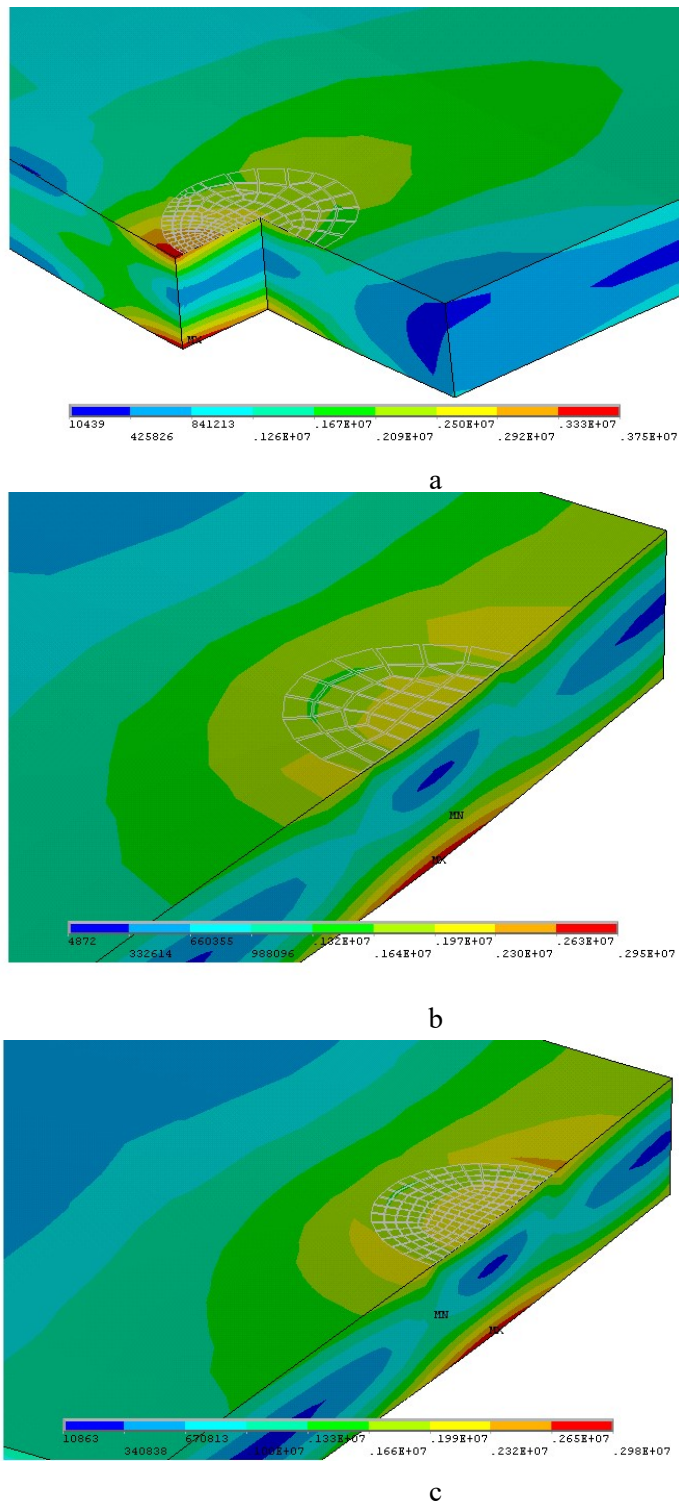
При варіантах транспортного навантаження 2 і 3 напружено-деформований стан плити по напруженням та деформаціям має схожий характер, в той час для варіанту 1 поведінка плити дещо нагадує поведінку консольної балки.



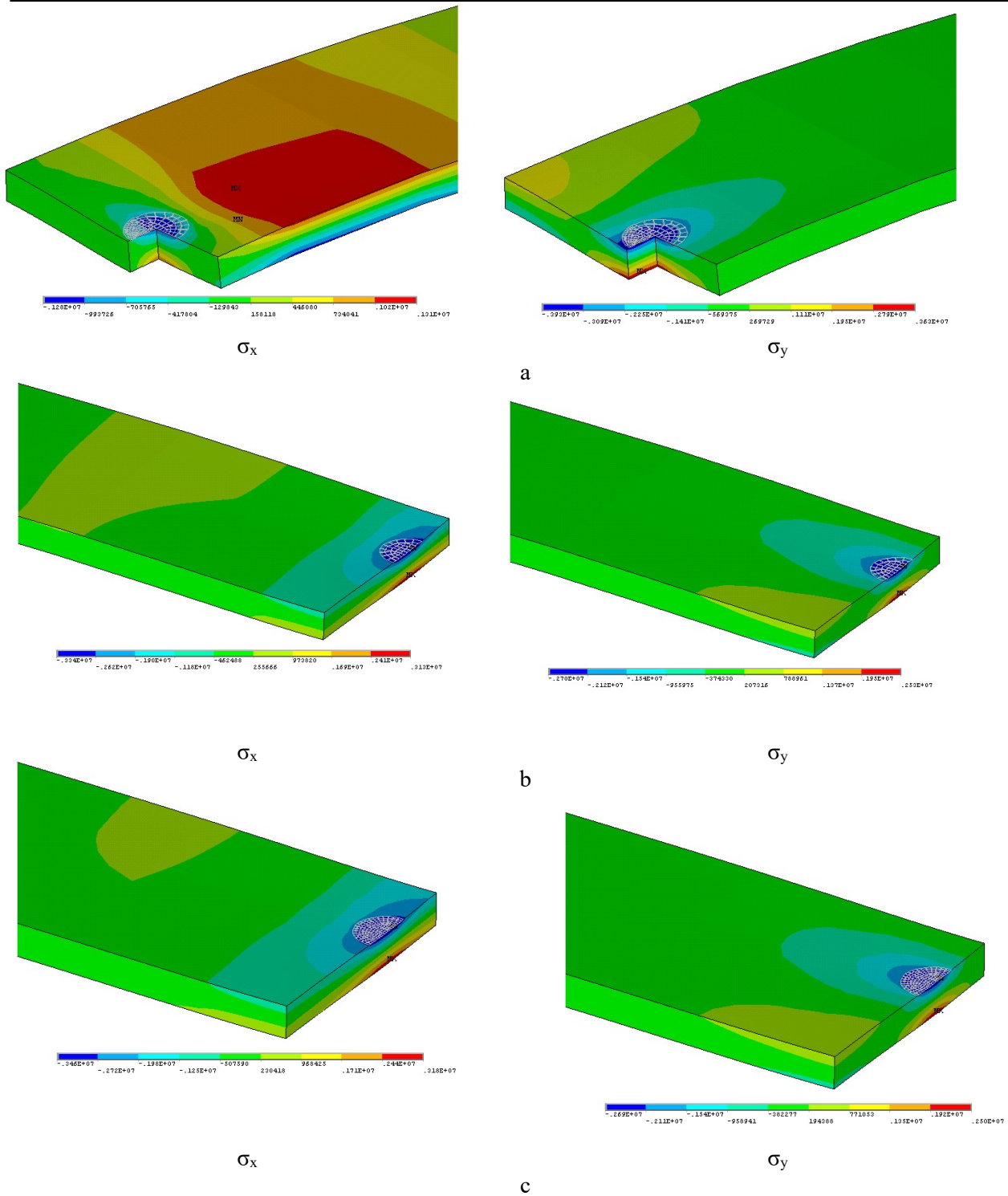
**Рисунок 6** – Поле повних переміщень вузлів моделі (а) та напружень  $\sigma_x$  (b),  $\sigma_y$  (c),  $\sigma_z$  (d) в елементах моделі для варіанту розміщення транспортного навантаження №3

**Figure 6** – Distribution of total displacements of model nodes (a) and stresses  $\sigma_x$  (b),  $\sigma_y$  (c),  $\sigma_z$  (d) in model elements for transport load placement option №3

Максимальні розтягуючі напруження для всіх варіантів транспортного навантаження спостерігаються під штапом на нижній грані плити. Найбільші вони для варіанту 1. На верхній грані плити також виникають зони розтягуючих напружень на відстані від штапу 0,5-1,5 м, але вони складають приблизно третину від максимальних значень і є найбільшими для варіанту 1. Максимальна інтенсивність напружень за Мізесом спостерігається під штапом на нижній грані плити, а для варіанту 1 ще додатково на верхній кромці шва.



**Рисунок 7** – Розподіл еквівалентних напружень за Мізесом  $\sigma_M$  під штампом для різних варіантів розміщення транспортного навантаження (Варіант №1 (а), варіант №2 (б), варіант №3 (с))  
**Figure 7** – Distribution of equivalent Mises stresses  $\sigma_M$  under the stamp for different options for placing the transport load (Option №1 (a), option №2 (b), option №3 (c))



**Рисунок 8** – Розподіл напружень  $\sigma_x$  та  $\sigma_y$  під штампом для різних варіантів розміщення транспортного навантаження (Варіант №1 (а), варіант №2 (б), варіант №3 (с))  
**Figure 8** – Distribution of stresses  $\sigma_x$  and  $\sigma_y$  under the stamp for different options for placing the transport load (Option №1 (a), option №2 (b), option №3 (c))

При багатоциклічному характері таких навантажень найбільш схильними до тріщеноутворення будуть ділянки матеріалу цементобетону розташовані на нижній грані плити під полозою накату через найбільші значення розтягуючі напружень, на верхній грані на полосі накату через знакозмінні напруження з високою амплітудою та на верхній та нижній кромках шва через максимальну інтенсивність напружень за Мізесом. Найбільша амплітуда переміщень основи буде спостерігатися під швом, що може приводити до ущільнення матеріалу основи та при негерметичності шва до виплескування матеріалу основи, утворенню порожнин і зменшенню площі контакту.

Для конструкції з товщиною цементобетонної плити  $h=18$  см при усіх варіантах розташування навантаження та значеннях модуля пружності бетону розтягуючі напруження перевищують допустимий рівень [2]. При збільшенні модуля пружності  $E$  плити з 30000 МПа до 40000 МПа максимальні значення напружень зростають приблизно на 6-8 %, а максимальні переміщення зменшуються на 3-4 %. При збільшенні товщини плити  $h$  з 18 см до 26 см максимальні напруження зменшуються приблизно на 40 %, а максимальні переміщення зменшуються на 9 %. Для зменшення максимальних значень напружень та переміщень в конструкції більш ефективним є збільшення товщини плити, хоча це приводить до зростання витрат матеріалу.

### **Висновки**

1. Запропоновано розрахункову схему роботи цементобетонної плити жорсткого дорожнього одягу на багатошаровій основі автомобільної дороги від дії навантаження пневматичних коліс транспортних засобів для різних варіантів навантаження (1, 2, 3), які відрізняються положенням центру колеса по відношенню до краю плити. Дана розрахункова схема дозволила розробити скінчено-елементну модель даної конструкції для моделювання і визначення розтягуючих ( $\sigma$ ) та дотичних ( $\tau$ ) напружень в цементобетонному покритті від дії навантаження транспортного засобу.

2. Проведено чисельний аналіз залежності величини максимальних напружень що виникають у конструкції жорсткого дорожнього одягу від параметрів цієї конструкції та положення навантаження від дії пневматичних коліс транспортних засобів.

3. Знайдено параметри конструкції жорсткого дорожнього одягу для яких виконується критерій міцності для забезпечення тріщиностійкості бетонного покриття.

### **Перелік посилань**

1. Онищенко А.М. Числове моделювання впливу розташування транспортного навантаження на цементобетонне покриття автомобільних доріг / А.М. Онищенко, С.М. Худолій, Н.П. Чиженко // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник. – К. : НТУ, 2020. – Вип. 1 (46). С. 237–252.

2. ГБН В.2.3-37641918-557:2016 Автомобільні дороги. Дорожній одяг жорсткий. Проектування. Київ, 2016. 75 с.

3. Онищенко А. М. Прогнозування та оцінка залишкових деформацій асфальтобетонного покриття з використанням методу скінченних елементів / А. М. Онищенко, С.М. Худолій, М.В. Гаркуша, О.М. Лещук / Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник. – К. : НТУ, 2017. – Вип. 1 (37). С. 308–320.

---

## **INFLUENCE OF AXIAL LOAD POSITION ON THE STRESS-STRAIN STATE OF CONCRETE SLAB OF RIGID PAVEMENT**

**Onyshchenko Artur M.**, Doctor of Technical Science, Professor, National Transportation University, Head of bridges, tunnels and hydraulic structures Department, e-mail: onyshchenko.a.m.ntu@gmail.com, +380687771899, <https://orcid.org/0000-0002-1040-4530>

**Soloviov Ihor L.**, Ph.D., associate Professor, National Transport University, assistant professor of the Department of Theoretical and Applied Mechanics, e-mail: i.soloviov@ntu.edu.ua, tel. +38 (044) 286-38-89, Kyiv, Boychuk str., 42, K. 612, <https://orcid.org/0000-0001-5203-4139>

**Khudolii Serhiy.M.**, Ph D, associate Professor, National Transport University, assistant professor of the Department of Higher Mathematics, Kyiv, Ukraine, s\_hoodolii@i.ua, tel. +38 (044) 284-71-09, Kyiv, Boychuk str., 42, K. 510, <https://orcid.org/0000-0001-6054-6708>

**Solovyov Vitaliy I.**, master's student, National Transport University, Kyiv, Ukraine, e-mail: vitalikyou@ukr.net, <https://orcid.org/0009-0007-6543-6998>

**Abstract.** The article is devoted to the analysis of the stress-strain state of a rigid pavement structure, arranged on a multilayer basis, depending on various options for the location of the axial transport load and the design features of the concrete layer.

The purpose of the work is to carry out finite element modeling of the stress-strain state of a concrete pavement of a highway, which is arranged on a multilayer basis and contains expansion joints between the plates, depending on various options for the location of the load relative to the expansion joints and structural features of the concrete pavement, such as its modulus of elasticity and thickness.

The object of study is concrete slab for road pavement.

Research method: statistical analysis of scientific publications, technical and regulatory literature, numerical calculation using the finite element method.

Considering that a complex spatial load acts on the concrete pavement of a highway, it is advisable to use a numerical method for determining the stress-strain state of a pavement based on solving the equations of elasticity theory - the finite element method as the most universal and effective. Its feature is a direct transition from a continuous object to a discrete analysis by dividing the area of the object under study into a number of subareas and approximating the fields of displacements, forces, stresses, for example, using an engineering and calculation complex. Three options for the location of transport loading are considered. As a result of the performed numerical modeling, the analysis of the stress-strain state of the cement concrete pavement was carried out, taking into account various design parameters, which makes it possible to establish the areas of stress concentration and predict the nature of the destruction of the cement concrete pavement.

**Key words:** automobile road, concrete covering, transport loads, stress fields, stress-strain state.

#### References

1. Onyshchenko A. M., Khudolii S. N., Chyzenko N.P. Numerical modelling of influence location of transport load on concrete covering of highways. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific and Technical Collection. – Kyiv: National Transport University, 2020. – Issue 1 (46). P. 237–252.
2. GBN V.2.3-37641918-557:2016 Motorways. Rigid road surface. Design. Kyiv, 2016. 75 p. [in Ukrainian].
3. Onishchenko A.M., Khudolii S.M., Harkusha M.V. Leshchuk A.N. Prediction and assessment of residual strain of asphalt pavement using finite element method. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific and Technical Collection. – Kyiv: National Transport University, 2017. – Issue 1 (37). P. 308–320.