

**ОСОБЛИВОСТІ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ НЕЖОРСТКОГО
ДОРОЖНЬОГО ОДЯГУ НА ПІДХОДАХ ДО МОСТОВИХ СПОРУД
В ЗОНІ ПЕРЕХІДНИХ ПЛИТ**

**FEATURES OF STRESS-DEFORMED CONDITION OF NON-RIGID ROAD CLOTHING
ON THE IN THE AREA OF BRIDGE APPROACH SLABS**



Солодкий Сергій Йосифович, доктор технічних наук, професор, Національний університет «Львівська політехніка», завідувач кафедри «Автомобільні дороги та мости», e-mail: s.solodkyi@ukr.net, тел. +380322582517

<https://orcid.org/0000-0001-9829-5123>



Кушнір Олександр Володимирович, Національний транспортний університет, кафедра дорожньо-будівельних матеріалів і хімії, аспірант, dornii48@gmail.com, +380974432495

<https://orcid.org/0000-0002-2487-4234>

Анотація. Мозговий Володимир Васильович, Кушнір Олександр Володимирович, Особливості напружено-деформованого стану нежорсткого дорожнього одягу на підходах до мостових споруд в зоні перехідних плит / Київ. НТУ: наук.-виробн. збірник “Автомобільні дороги і дорожнє будівництво” - 2019. - № 106

В статті розглядаються особливості роботи асфальтобетонних шарів нежорсткого дорожнього одягу в зоні сполучення мосту і насипу на прикладі розгляду найбільш типових конструктивних рішень.

Об'єкт дослідження – конструкція нежорсткого дорожнього одягу автомобільної дороги в зоні сполучення з мостовою спорудою.

Мета роботи – аналіз особливостей напружено-деформованого стану нежорсткого дорожнього одягу на підходах до мостових споруд в зоні перехідних плит від дії транспортного навантаження з точки зору впливу на утворення тріщин в асфальтобетонних шарах.

Метод дослідження – аналітичний, що ґрунтується на виконанні числового експерименту при застосуванні програмного комплексу ЛІРА САПР.

Розглянуто просторову кінцево-елементну модель, яка дозволяє визначати напружено-деформований стан кожного елемента конструкції при різному розташуванні транспортного навантаження по відношенню до розташування перехідної плити.

Проведений кількісно-якісний аналіз деформацій, переміщень і напружень в асфальтобетонних шарах конструкції дорожнього одягу виявив певні обставини, що можуть впливати на передчасне утворення в них тріщин. Це пов'язано з різкою зміною параметрів напружено-деформованого стану над перехідною плитою по відношенню до їх зміни в асфальтобетонних шарах поза межами перехідної плити і обумовлене з явищем «квазиклавішного ефекту». Це пояснює утворення відповідних дефектів і призводить до зменшення довговічності конструкцій дорожнього одягу.

Результати статті можуть бути упроваджені при проектуванні дорожніх одягів в зоні сполучень мостів і шляхопроводів з автомобільною дорогою і технології їх ремонту та будівництва.

Прогнозні припущення щодо розвитку об'єкта дослідження – пошук оптимальної конструкції дорожнього одягу в зоні сполучень мостів і шляхопроводів з насипом автомобільної дороги.

Ключові слова. підходи до мостів, дорожній одяг, асфальтобетонне покриття, перехідні плити.

З літературних джерел відомо, що проблемою сполучення мостових споруд з насипами підходів займаються [1-8] вже багато років. Аналіз різних рішень, щодо поліпшення експлуатаційного стану покриття дорожнього одягу у місцях сполучення мостів і шляхопроводів з насипом автомобільних доріг показує, що всі вони, головним чином, були направлені на удосконалення конструктивних рішень у зоні спряжень зі стоянами мостових споруд. Найбільш поширеними варіантами на таких об'єктах, що експлуатуються і проектується, є конструкції земляного полотна з різноманітними видами перехідних плит, де використовується конструкція дорожнього одягу, що запроєктована для автомобільної дороги, яка сполучається з мостовою спорудою [9-13]. Однак, у багатьох випадках у зоні спряження спостерігається передчасна поява руйнувань і деформацій на покритті. Відомо багато технічних рішень, спрямованих на зниження зазначених недоліків, водночас це питання недостатньо вивчене з точки зору впливу напружено-деформованого стану нежорсткого дорожнього одягу на підходах до мостових споруд в зоні перехідних плит на довговічність асфальтобетонного покриття. Тому вирішення питань, щодо підвищення довговічності асфальтобетонного покриття на підходах до мостових споруд автомобільних доріг, з урахуванням спільного впливу зміни температури та дії пневматичних коліс транспортних засобів, є актуальним і важливим науково-практичним завданням, що дозволить забезпечити тривалу і надійну роботу як покриття дорожнього одягу так і всього вузла сполучення мосту з насипом.

Методика досліджень даної роботи полягала у використанні скінченно-елементного моделювання поведінки конструкції нежорсткого дорожнього одягу з асфальтобетонним покриттям під дією транспортного навантаження у зоні розташування перехідної плити вузла спряження насипу автомобільної дороги зі стояном. Для досліджень була прийнята конструкція дорожнього одягу, характерна для автомобільних доріг з важким і інтенсивним рухом (табл. 1).

Таблиця 1 – Конструкція дорожнього одягу вузла спряження насипу автомобільної дороги з мостовою спорудою

Table 1 – The design of the pavement of the highway with on the in the area of bridge approach slabs

Ч.ч.	Конструктивні шари дорожнього одягу	Товщина, см
1	Щебенево-мастиковий асфальтобетон (ЩМА-15) на бітумі БМПА60/90-53	5
2	Щільний гарячий асфальтобетон на БНД60/90 (Тип А, Марка І)	11
3	Пористий гарячий асфальтобетон на бітумі БНД60/90 (Крупнозернистий, Марка І)	11
4	Щебенево-піщана суміш С-7 оптимального складу, укріплена цементом М 20	20
5	Щебенево-піщана суміш С-5 оптимального складу	20
	Грунт земляного полотна - пісок	

Схема сполучення мостової споруди з насипом підходу при горизонтальному розташуванні перехідної плити представлена на рис. 1. Довжина перехідної плити становить 6000 мм. У дослідженнях також розглядали варіант нахиленої перехідної плити з ухилом 1: 13.

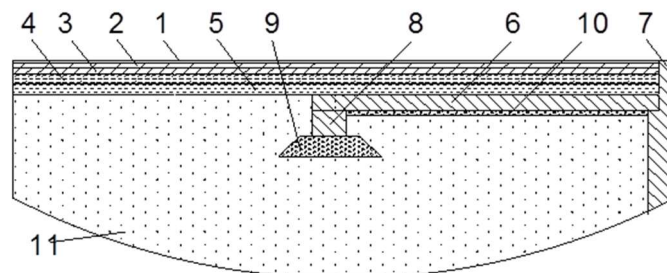


Рисунок 1 – Схема сполучення мостової споруди з насипом підходу: 1-3 - шари асфальтобетонного покриття; 4-5 - шари основи; 6 - перехідна плита; 7 - стоян (берегова опора); 8 - лежень; 9-10 - щебенева подушка; 11 - грунт земляного полотна (дренуючий) – пісок

Figure 1 – The scheme of obtaining the bridge with a nasip podhodu - 1–3 - balls of asphalt concrete; 4–5 - balls of the base; 6 - overboard stove; 7 - standing (shore support); 8 - lying; 9–10 - crushed stone pillow; 11 - soil (draining) – sand

В наших дослідженнях для розрахунків було вибрано як найбільш типовий представник великовантажних транспортних засобів автомобіль FORD TRUCKS 4142M EURO 5 (рис. 3) з такими характеристиками: загальна маса 33514 кг; колісна база - 8x4, 5100 мм; повна довжина 8860 мм; відстань між 1-ю і 2-ю віссю 2050 мм; відстань між 2-ю і 3-ю віссю 3050 мм; відстань між 3-ю і 4-ю віссю 1330 мм; розмір шин - 315/80 R22,5.

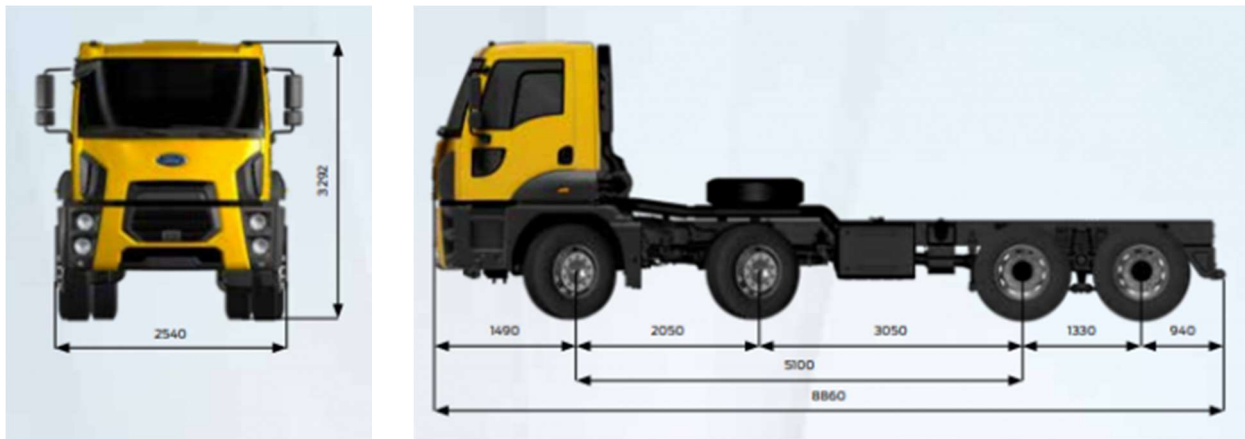


Рисунок 2 – Чотирьохвісний автомобіль FORD TRUCKS 4142 з кабіною над двигуном

Figure 2 – Four-axle FORD TRUCKS 4142 car with cab over engine

Для моделювання напруженого стану дорожнього одягу під дією транспортних навантажень використано метод скінчених елементів, який в останні роки набуває все більшої популярності у дорожніх конструкціях [13-15]. Розрахунки виконували в програмному комплексі ЛІРА САПР 2017. З метою розрахунку дорожнього одягу було розроблено просторову скінченно-елементну модель, що дозволяє визначити напружено-деформований стан кожного елемента конструкції. Для досліджень прийнята розрахункова модель, що мала розміри 14×4,4×1,97 м і складалась із 133245 вузлів та 135520 елементів. Передбачалося, що шари конструкції дорожнього одягу є монолітними і зчеплені між собою.

Для моделювання перехідних плит (П600.124.30-ТА400С) використовували універсальний просторовий восьмивузловий і ізопараметричний кінцевий елемент KE36. Об'ємні елементи ґрунту засипки і основи моделювали з допомогою елемента KE271-276, що моделює односторонню роботу ґрунту на стиск з врахуванням зсуву та з використанням елемента KE36. Ґрунти основи та верхній шар асфальтобетону моделювався пластинчастими кінцевими елементами KE41 – універсальний прямокутний кінцевий елемент оболонки.

Враховуючи, що найбільший вплив на напружено-деформований стан дорожнього одягу чинить третя вісь автомобіля, прийнятого у дослідженнях (рис. 3), вивчали його зміну у залежності від розташування цієї вісі по відношенню до положення перехідної плити. Було розглянуто 4-и схеми розташування автомобіля, що «від'їзджав» від мосту при різних відстанях третьої вісі від опори мостової споруди: №1 - 3000 мм, №2 - 5380 мм, №3 - 6260 мм, №4 - 8500 мм.

На рис. 3 представлено фрагменти візуалізації напружено-деформованого стану дорожнього одягу.

Результати визначення напружено-деформованого стану конструкції дорожнього одягу в зоні вузла спряження насипу автомобільної дороги з мостовою спорудою (стояном) представлені на рисунках 4 - 9.

Характер зміни вертикальних нормальних напружень в шарах дорожнього одягу у залежності від схеми розташування транспортного засобу (його 3-ої осі) до положення перехідної плити свідчить про те, що ці напруження в асфальтобетонних шарах змінюються майже однаково для різних схем розташування транспортних засобів і не залежать від зміни кута нахилу перехідної плити. У нижніх шарах

основи під асфальтобетонними шарами ці напруження на 20-40 % більші коли 3-я вісь знаходиться над перехідною плитою (схеми розташування транспортного засобу 1 та 2) у порівнянні з тим розташуванням навантаження, коли 3-тя вісь знаходиться поза межами плити (схеми розташування транспортного засобу 3 та 4).

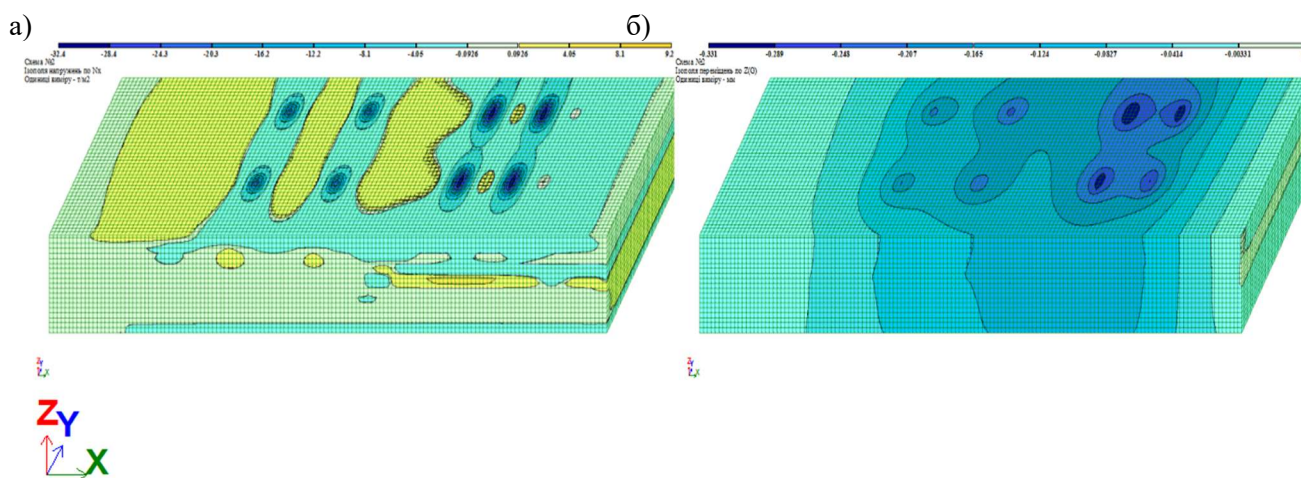


Рисунок 3 – Моделі роботи дорожнього одягу розроблені в програмному комплексі ЛІРА САПР 2017: а) схема ізополів напружень NX (по осі X), що діють в запроєктованій моделі; б) схема ізополів переміщень Z(G) (по осі Z), що діють в запроєктованій моделі

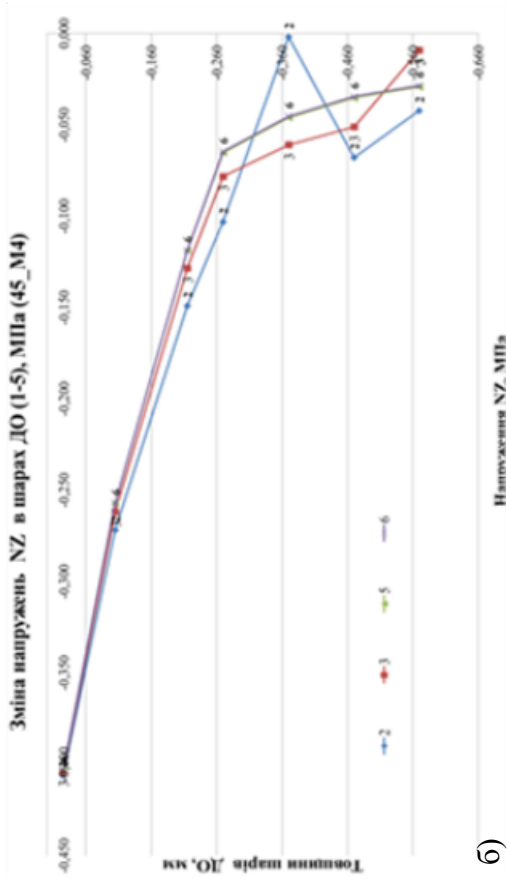
Figure 3 – Models of pavement work are developed in the software complex LIRA CAD 2017: a) the scheme of voltage isopoles NX (on the X axis), operating in the designed model; b) the scheme of isopoles of displacements Z (G) (along the Z axis), operating in the designed model

Аналіз зміни вертикального прогину від місця розташування транспортного навантаження по відношенню до краю перехідної плити (рис. 4в та 4г) свідчить, що плавна його зміна до краю плити зазнає різкого збільшення при розташуванні 3-ї вісі транспортного засобу за краєм плити. У цьому випадку незалежно від кута нахилу перехідної плити така різка зміна вертикального прогину поверхні покриття на 20-40 %. Це свідчить про те що вертикальний прогин як інтегральний показник зміни напружено-деформованого стану не змінюється плавно при переході конструкції дорожнього одягу від розташування над перехідною плитою до розташування в межах насипу ґрунту земляного полотна. Такий характер зміни прогину поверхні покриття викликає виникнення більш несприятливих умов з точки зору дії горизонтальних нормальних розтягуючих напружень в асфальтобетонних шарах дорожнього одягу та у шарі основи укріпленої цементом, про що свідчать результати дослідження цих напружень, що представлені на рис. 5–9.

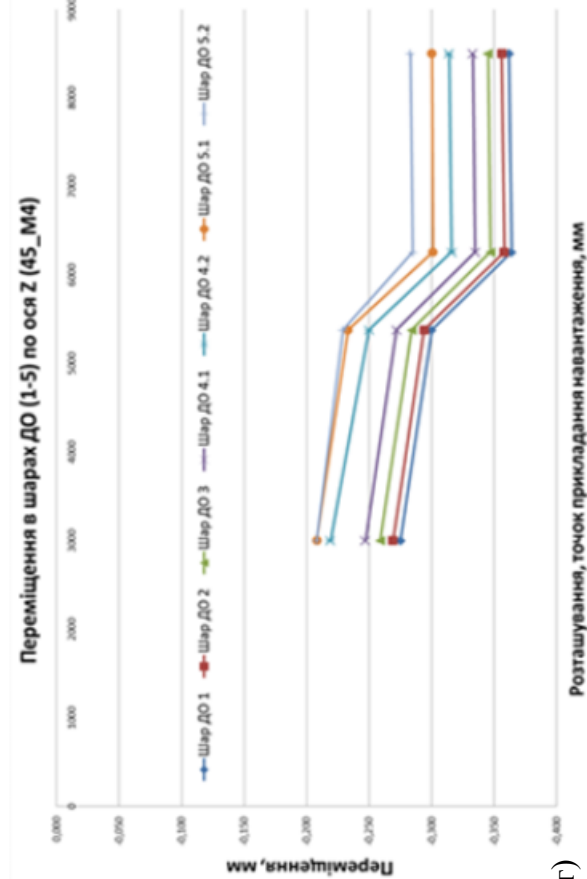
На рис. 5 представлена зміна горизонтальних розтягуючих напружень в поперечному (вздовж осі Y) та поздовжньому (вздовж осі X) напрямках в залежності від розташування транспортного засобу по відношенню до перехідної плити.

Ці результати свідчать про те, що ці напруження в нижній фібрі асфальтобетонних шарів є розтягуючими, як для схем розташування 3-ої вісі над перехідною плитою (схеми розташування транспортного засобу 1 та 2) так і за плитою (схеми розташування транспортного засобу 3 та 4) незалежно від кута нахилу плити. Причому вони поза плитою більші ніж над плитою. У випадку горизонтальної плити ці напруження поза плитою на 25 % більші ніж над плитою. Таке суттєве скачкоподібне збільшення розтягуючих напружень в асфальтобетонних шарах поза плитою буде впливати на зменшення довговічності за критерієм міцності на розтяг при згині в 1,5–2,0 рази.

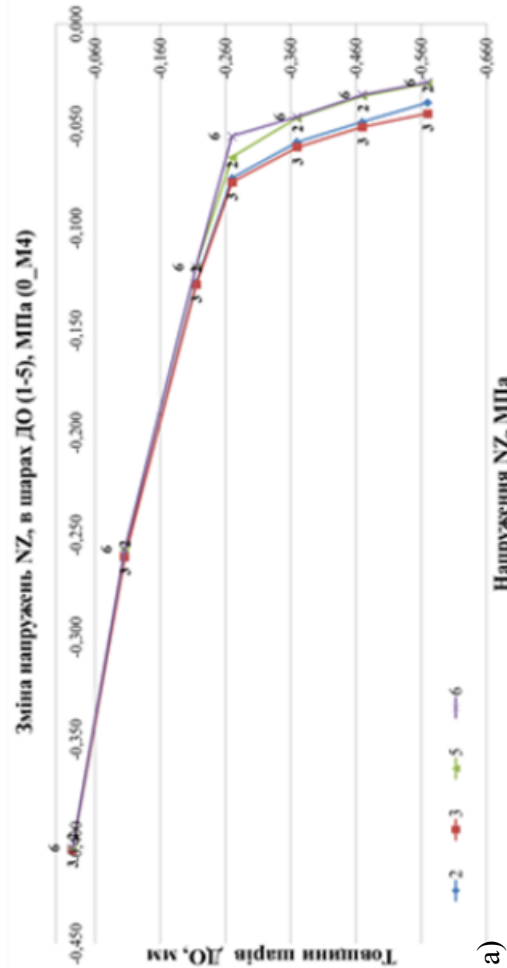
Крім того слід звернути увагу на появу розтягуючих напружень на поверхні асфальтобетонних шарів у зоні навантаження дорожнього одягу поза перехідною плитою (рис. 5 – 9). Ці напруження хоча і не значні, однак при сумісному впливі з розтягуючими температурними напруженнями при зниженні температури можуть прискорювати процес тріщиноутворення асфальтобетонного покриття.



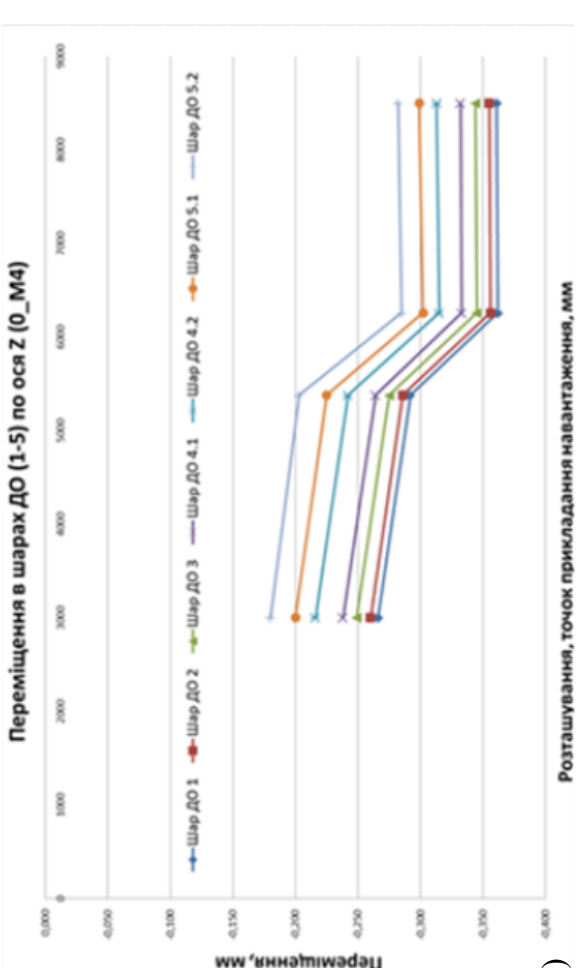
б)



г)



а)



в)

Рисунок 4 - Результати розрахунків виконаних в програмному комплексі ЛІРА САПР 2017. Зміна переміщень та напружень в шарах ДО в площинах (полях) X, Y, Z
 Figure 4 – Results of calculations made in the software complex LIRA CAD 2017. Changes of displacements and stresses in layers K in planes (fields) X, Y, Z

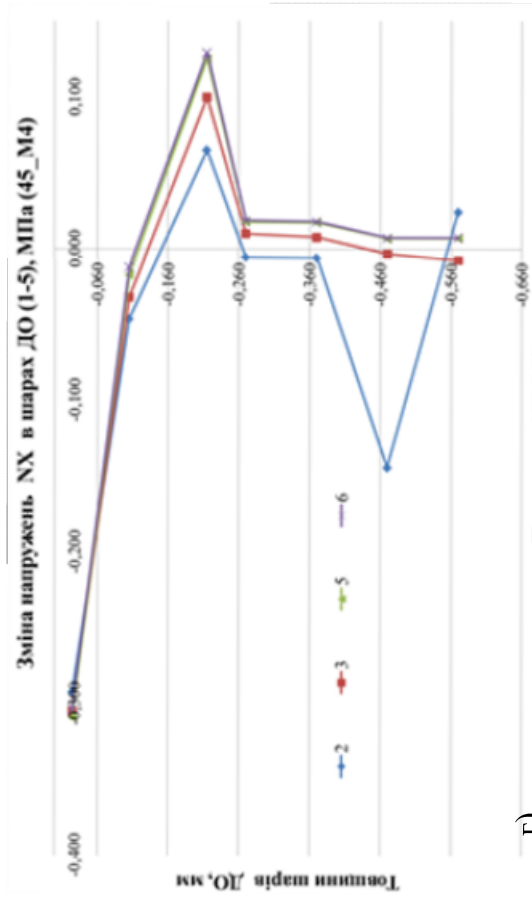
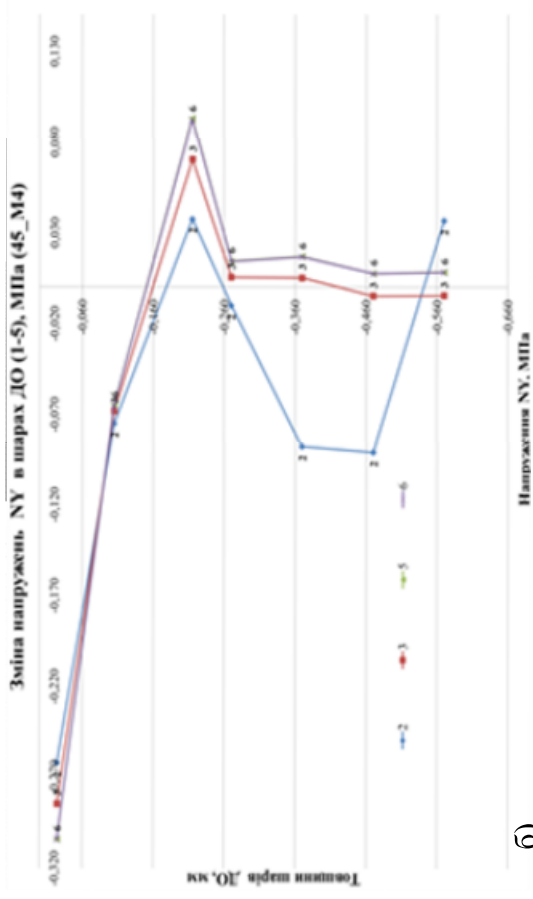
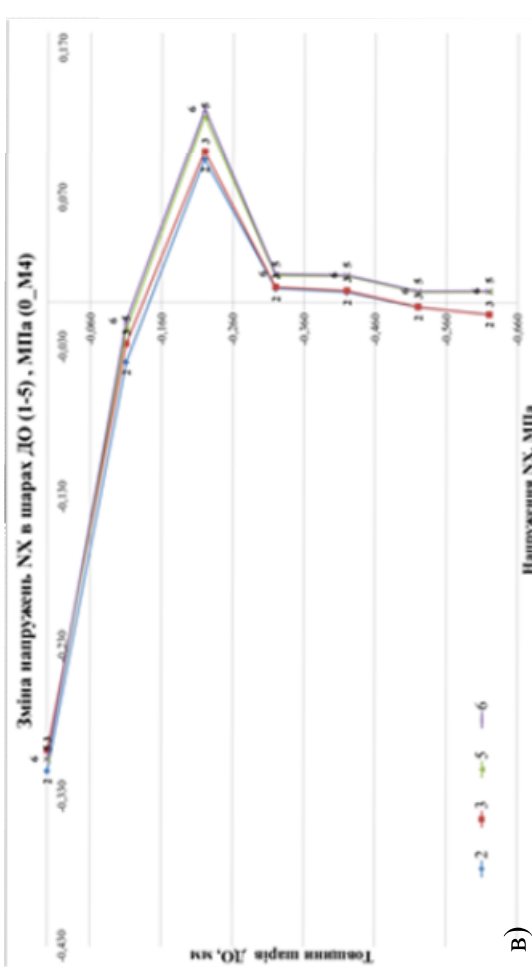
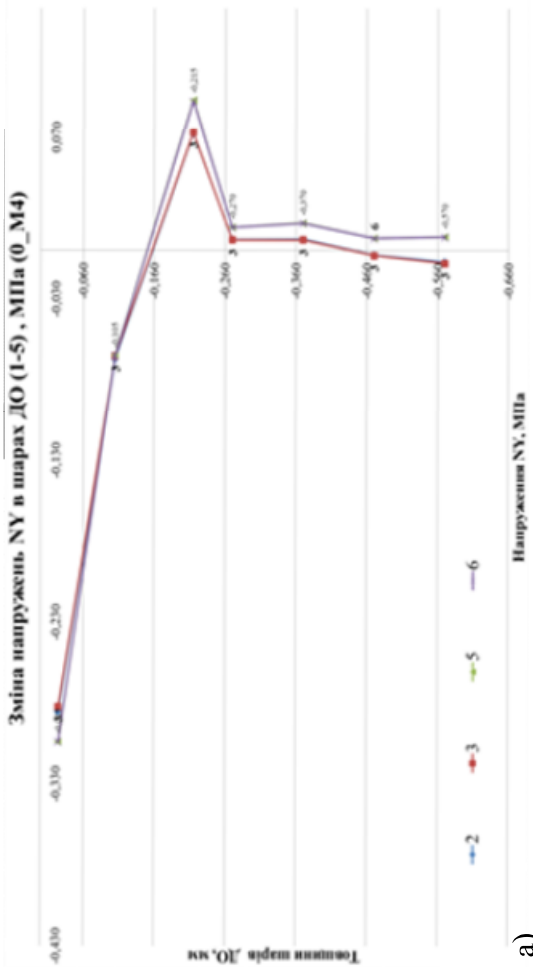


Рисунок 5 - Результати розрахунків виконаних в програмному комплексі LIRA SAPR 2017. Зміна переміщень та напружень в шарах ДО в площинах (полях) X, Y, Z
 Figure 4 – Results of calculations made in the software complex LIRA CAD 2017. Changes of displacements and stresses in layers K in planes (fields) X, Y, Z

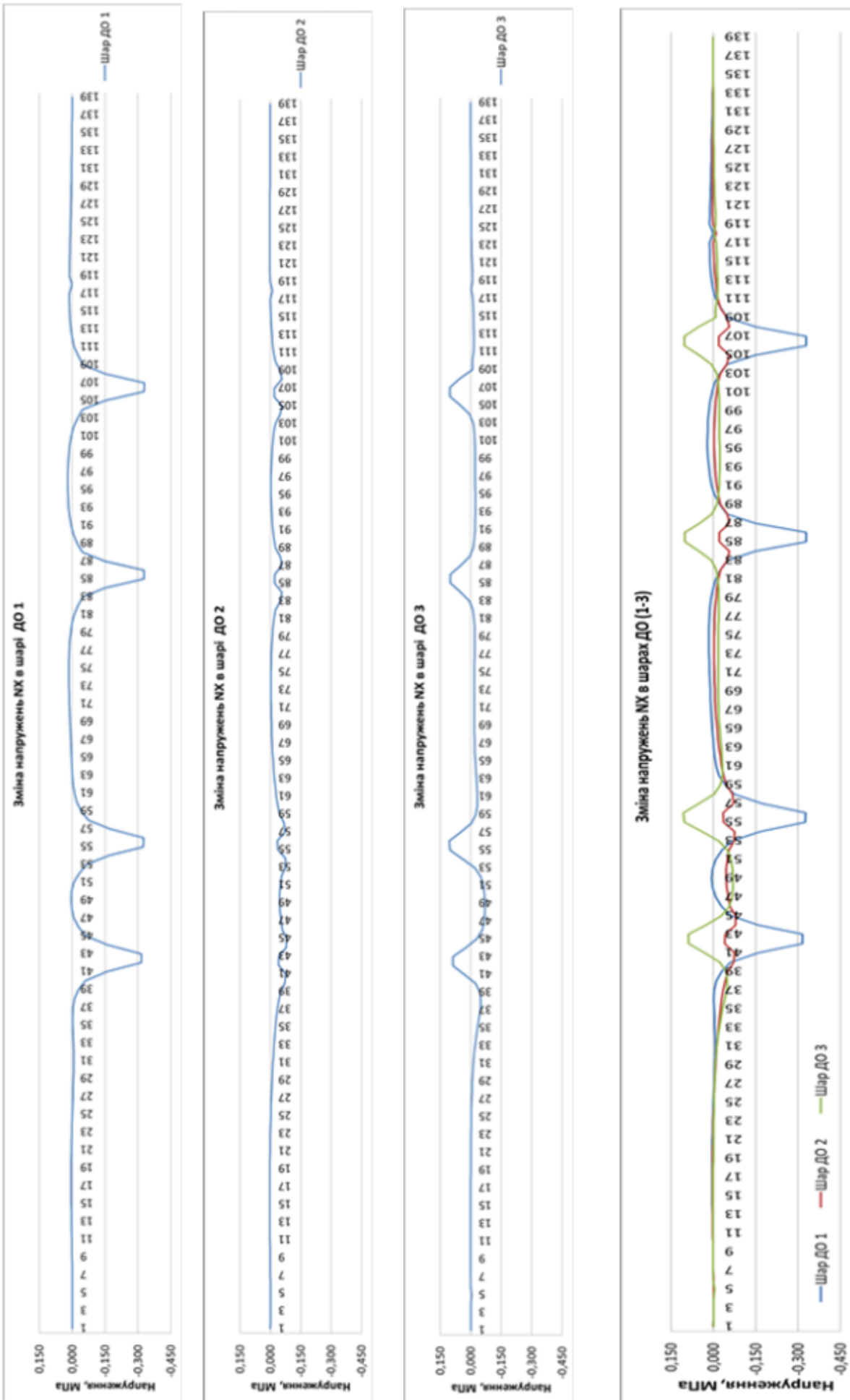


Рисунок 6 - Зміна напружень NX в шарах ДО (1-3), схема 3
 Figure 6 – Change of NX stresses in layers K (1-3), scheme 3

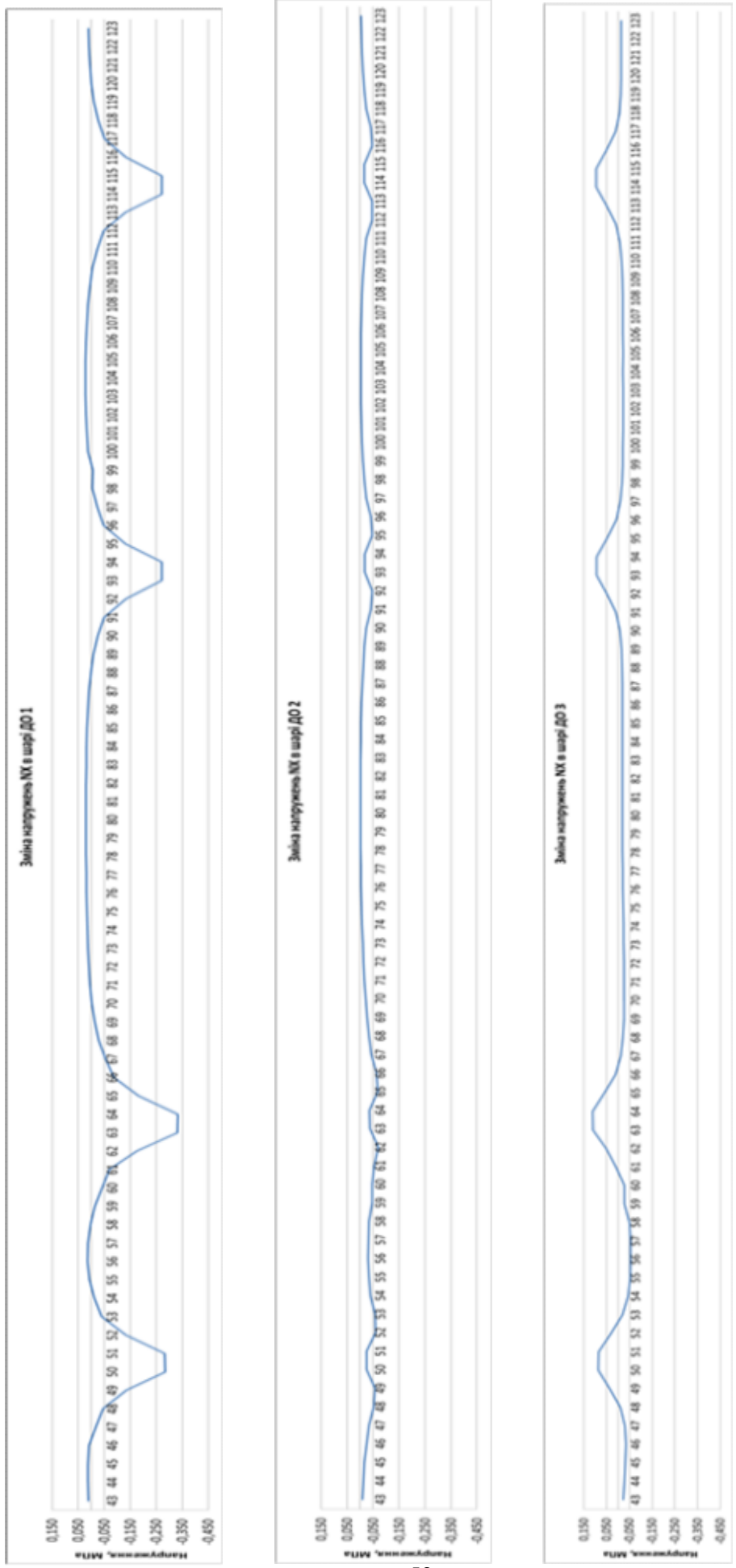


Рисунок 7 – Зміна напружень NX в шарах ДО (1-3), схема 4
 Figure 7 – Change of NX stresses in layers К (1-3), scheme 4

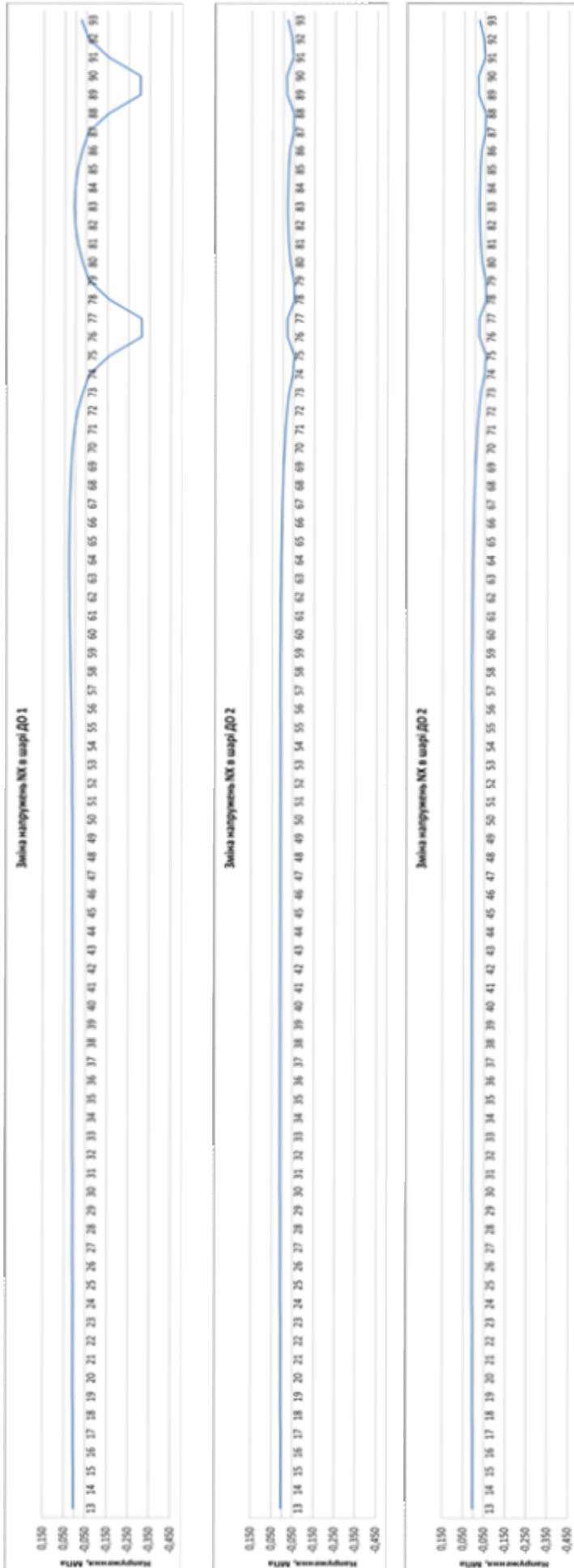


Рисунок 8 – Зміна напружень NX в шарах ДО (1-3), схема 5
 Figure 8 – Change of NX stresses in layers К (1-3), scheme 5

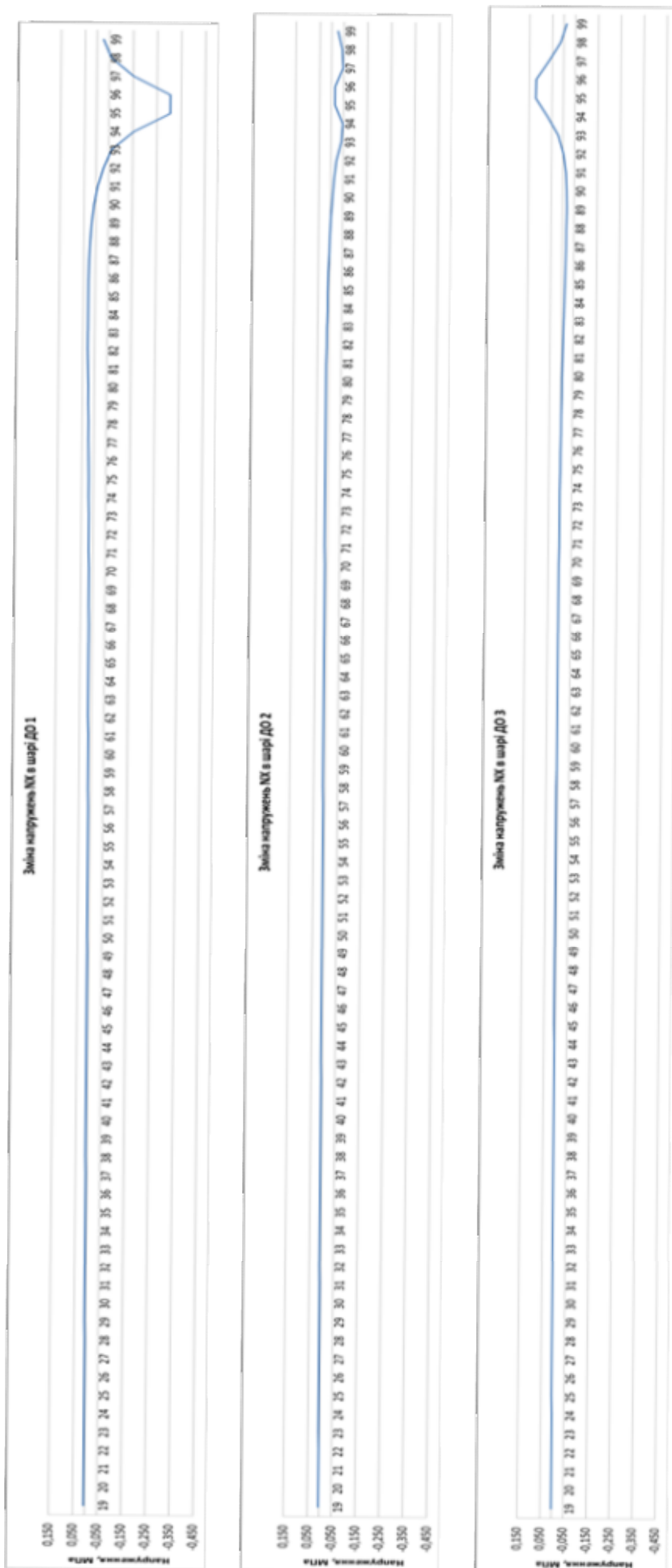


Рисунок 9 – Зміна напружень NX в шарах ДО (1-3), схема 5
 Figure 9 – Change of NX stresses in layers K (1-3), scheme 5

Таким чином на основі виконаного якісного аналізу напружено-деформованого стану нежорсткого дорожнього одягу на підходах до мостових споруд в зоні перехідних плит можна зробити наступні висновки:

1. Аналіз літературних даних свідчить про те, що підвищення довговічності асфальтобетонного покриття на підходах до мостових споруд автомобільних доріг, з урахуванням спільного впливу зміни температури та дії пневматичних коліс транспортних засобів, є актуальним при вирішенні питання забезпечення тривалої і надійної роботи покриття дорожнього одягу та всього вузла сполучення мостової споруди з насипом;

2. Існуючі конструктивні рішення з перехідними плитами не забезпечують плавності зміни напружено-деформаційного стану дорожнього одягу покриття та асфальтобетонних шарів;

3. Незалежно від кута нахилу перехідної плити відбувається різке збільшення вертикального прогину поверхні покриття на 20-40 %, коли транспортне навантаження розташовується поза перехідною плитою у порівнянні з його значенням у випадку транспортного навантаження у межах перехідної плити.

4. У нижніх шарах основи під асфальтобетонними шарами вертикальні нормальні напруження на 20-40 % більші коли 3-тя вісь знаходиться над перехідною плитою (схеми розташування транспортного засобу 1 та 2) у порівнянні з тим розташуванням навантаження коли 3-тя вісь знаходиться поза межами плити (схеми розташування транспортного засобу 3 та 4);

5. Суттєве стрибкоподібне збільшення розтягуючих напружень в асфальтобетонних шарах поза плитою буде впливати на зменшення довговічності за критерієм міцності на розтяг при згині в 1,5-2 рази.

6. Отримані результати свідчать про необхідність більш детального кількісного аналізу впливових факторів на напружено-деформований стан та довговічність дорожнього одягу та весь вузол сполучення мостової споруди з насипом автомобільної дороги.

Перелік посилань

1. Кушнір О. В. Забезпечення довговічності дорожнього одягу на підходах до мостів з асфальтобетонним покриттям. Київ. НТУ: наук.-виробн. збірник "Автомобільні дороги і дорожнє будівництво" - 2019. - № 106.

2. Пегин П. А. Обеспечение ровности дорожного покрытия и безопасности движения транспортных средств в местах сопряжения моста с насыпью / Пегин П. А., Лапин А. В. // ВЕСТНИК. Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ). - 2012. - № 3(30). - С. 92-95.

3. Попов В. И. Способы сопряжения конструкций путепроводов с насыпями подходов / Попов В. И.

4. Edward J. Hoppe, Ph.D., P.E. Senior Research Scientist GUIDELINES FOR THE USE, DESIGN, AND CONSTRUCTION OF BRIDGE APPROACH SLABS Virginia Transportation Research Council (A Cooperative Organization Sponsored Jointly by the Virginia Department of Transportation and the University of Virginia) Charlottesville, Virginia, November 1999.

5. ДБН В.2.3-14:2006 Споруди транспорту. Мости та труби. Правила проектування [Чинний від 2005-09-03]. - К.: Держспоживстандарт України, 2008. - 20 с. - (Національні стандарти України)

6. ДБН В.2.3-22:2009. Споруди транспорту. Мости та труби. Основні вимоги проектування [Чинний від 2005-09-03]. - К.: Держспоживстандарт України, 2008. - 20 с. - (Національні стандарти України).

7. Пестряков А.Н., Маринин, А.Н., Ситников С.В. Эксплуатация и диагностика мостов / Екатеринбург, - 2007.

8. JEAN-LOUIS BRIAUD, Ph.D., P.E. RAY W. JAMES, Ph.D., P.E., STACEY B. HOFFMAN, E.I.T. Settlement of Bridge Approaches (The Bump at the End of the Bridge) Synthesis of Highway Practice 234 Texas A&M University Transportation research board executive commiuee national academy press, Washington, D.C. 1997.

9. Muttoni A., Dumont A.-G., Burdet O., Savvilotidou M., Einpaul J., Nguyen M.L., Experimental verification of integral bridge abutments, Rapport OFROU, Switzerland, 2013, 86 p.

10. Short, T. H., Wierschem, N. E., Denavit, M. D., and Bennett, R. M. (2018). Bump at the End of the Bridge: Review and Analysis of Rider Discomfort. Civil and Environmental Engineering Report Series, Report No. 1, Department of Civil and Environmental Engineering, University of Tennessee, Knoxville, Tennessee. – Режим доступу: http://trace.tennessee.edu/ce_reports

11. Burdet O., Einpaul J., Muttoni A., Experimental investigation of soil – structure interaction for transition slabs of integral bridges, Structural Concrete, 16, 2015, pp 470-479.

12. Попов В. И. Совершенствование конструкции сопряжения путепроводов с насыпью путем применения интегральных устоев 2014 г. С. 166-178. – Режим доступу: <http://rosdornii.ru/files/dorogi-i-mosti/10-07-14/IV/12.pdf>

13. Гуляев В.І., Мозговий В.В., Гайдачук В.В., Густелєв О.О., Заєць Ю.О., Шевчук Л.В., Шлюнь Н.В. Термопружний стан багатопшарових дорожніх покриттів // Монографія – К. : НТУ, 2018. – 252 с.

14. Мозговий В.В., Густелєв О.О., Гайдачук В.В., Шевчук Л.В. Аналіз деформування дорожнього покриття на металевій плиті Південного моста // Промислове будівництво та інженерні споруди: наук.-виробн. журнал. 2019. № 1. С. 31-38.

15. Мозговий В.В., Густелєв О.О., Гайдачук В.В., Заєць Ю.О., Шевчук Л.В. Деякі закономірності термопружного деформування асфальтобетонного покриття дороги // Вісник НТУ. наук.-техн. збірник. 2017. Серія «Технічні науки», Вип. № 1 (37) С. 80-92.

FEATURES OF STRESS-DEFORMED CONDITION OF NON-RIGID ROAD CLOTHING ON THE IN THE AREA OF BRIDGE APPROACH SLABS

Solodkyy Serhiy, Doctor of Technical Sciences, Professor, Lviv Polytechnic National University, Head of the Department of Motor Roads and Bridges, e-mail: s.solodkyy@ukr.net, +380322582517, ORCID 0000-0001-9829-5123

Kushnir Alexander Vladimirovich, National Transport University, Department of Road Construction Materials and Chemistry, postgraduate student, dornii48@gmail.com, +380974432495, <https://orcid.org/0000-0002-2487-4234>

Summary.

The article considers the peculiarities of the work of asphalt concrete layers in the area of the bridge and embankment and modern design solutions. The main types of defects of road clothes are noted.

The object of research - structures of road clothes in the bridge and embankment area.

The purpose of the work is to analyze the change of stresses in asphalt concrete layers of road along the entire length and thickness in the area of connection between the bridge and the embankment, taking into account the influence of the transition plate.

Research Method - A spatial finite element model was created in the software program LIRA CAD 2017, which allows to determine the stress-strain state of each structural element and calculations.

Changes in stresses in the asphalt layers of pavement above the transition plate in relation to stresses in the asphalt layers outside the transition plate are dangerous because they can cause the phenomenon of "key-board effect", which explains the formation of defects and reduces the durability of pavement structures.

The results of the article can be implemented in the design of road clothing in the area connection of the bridges and overpasses with the highway and the technology of their repair and construction.

Foreseeable assumptions about the development of the research object are the search for an optimal design of road clothing in the area connection of bridges and overpasses with an automobile road.

Key words. approaches to bridges, road clothes, asphalt concrete coating, transition plates.

References

1. Kushnir O. V. Zabezpechenny dovgovnichnosti road clothing on the road to the bridge with asphalt concrete pokrityam. Kiev. NTU - 2019. - No. 106.
2. Pegin P. A. Ensuring the evenness of the road surface and the safety of vehicles in places where the bridge is connected with the embankment / Pegin P. A., Lapin A. V. // VESTNIK. Moscow Automobile and Road State Technical University (MADI). - 2012. - No. 3 (30). - S. 92-95.
3. Popov V.I. Methods for interfacing structures of overpasses with embankments of approaches / Popov V.I.
4. Edward J. Hoppe, Ph.D., P.E. Senior Research Scientist Guidelines for the use, design, and construction of bridge approach slabs Virginia Transportation Research Council (A Cooperative Organization Sponsored Jointly by the Virginia Department of Transportation and the University of Virginia) Charlottesville, Virginia, November 1999.
5. DBN V.2.3-14: 2006 Equip the transport. Bridges that trumpet. Rules for the project [Chinniy vid 2005-09-03]. - K. : Derzhspozhivstandart Ukrainy, 2008. - 20 p. - (National standards of Ukraine)
6. DBN B.2.3-22: 2009. Equip the transport. Bridges that trumpet. The main vimogi of the project [Chinniy vid 2005-09-03]. - K. : Derzhspozhivstandart Ukrainy, 2008. - 20 p. - (National standards of Ukraine)
7. Pestryakov AN, Marinin, AN, Sitnikov SV. Operation and diagnosis of bridges / Ekaterinburg, - 2007
8. JEAN-LOUIS BRIAUD, Ph.D., P.E. RAY W. JAMES, Ph.D., P.E., STACEY B. HOFFMAN, E.I.T. Texas A&M University Transportation research board executive commiuee national academy press, Washington, D.C. 1997.
9. Muttoni A., Dumont A.-G., Burdet O., Savvilotidou M., Einpaul J., Nguyen M.L., Experimental verification of integral bridge abutments, Rapport OFROU, Switzerland, 2013, 86 p.
10. Short, T. H., Wierschem, N. E., Denavit, M. D., and Bennett, R. M. (2018). Bump at the End of the Bridge: Review and Analysis of Rider Discomfort. Civil and Environmental Engineering Report Series, Report No. 1, Department of Civil and Environmental Engineering, University of Tennessee, Knoxville, Knoxville, Tennessee. http://trace.tennessee.edu/ce_reports
11. Burdet O., Einpaul J., Muttoni A., Experimental investigation of soil - structure interaction for transition slabs of integral bridges, Structural Concrete, 16, 2015, pp 470-479.
12. Popov V. I. Improving the design of the interface of viaducts with embankment by the use of integral foundations <http://rosdornii.ru/files/dorogi-i-mosti/10-07-14/IV/12.pdf> 2014. P. 166 -178.
13. Gulyaev V.I., Mozgovy V.V., Gaydachuk V.V., Gustulov O.O., Zaec Yu.O., Shevchuk L.V., Shlyun N.V. Thermal shock mill of bagatosharovyh road pokrittiv // Monograph - K.: NTU, 2018. --- 252 p.
14. Brain V.V., Gustulov O.O., Gaydaychuk V.V., Shevchuk L.V. Analysis of deformation of the road surface on a metal plate of the Pivdenny Bridge // Promislové Budivnitsvo and Engineering Equipment: Science.-Virobn. magazine. 2019.No 1. S. 31-38.
15. Mozgovy V.V., Gustulov O.O., Gaydaychuk V.V., Zaets Yu.O., Shevchuk L.V. Deacs of the law of thermal shock deformation of asphalt concrete road surface // News of NTU. science. zbirnik. 2017. Seriya "Technology", VIP. No. 1 (37) S. 80-92.