

УДК 625.815.5

DOI: 10.30838/J.PMNTM.2413.270922.7.899

АНАЛІЗ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ТРАМВАЙНОЇ ПЛИТИ ПОКРИТТЯ ЗА РІЗНИХ ВАРІАНТІВ СПИРАННЯ

ГРИБЕНЮК С. М., *аспір.*

Кафедра будівельних конструкцій, Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, вул. Маршала Бажанова, 17, 61002, Харків, Україна, тел. +38 (099) 030-16-63, e-mail: gribenuks@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-9699-9116

Анотація. Постановка проблеми. Перед упровадженням проектного рішення в масове виробництво в роботі проведено дослідження та аналіз додаткових факторів, таких як порушення стандартного спирання плити. **Мета статті** – продовження дослідження використання як дорожнього покриття залізобетонних плит на трамвайних переїздах, шляхопроводах, на предмет аналізу напружено-деформованого стану дорожньої плити, яка застосовується для монтажу трамвайних переїздів за безбаластною технологією RS, у випадку зміни характеру її спирання. **Основна частина.** У статті виконано аналіз напружено-деформованого стану трамвайних залізобетонних плит, які використовуються як дорожнє покриття на переїздах, мостах та шляхопроводах. Виконано розрахунок на існуючі дорожні навантаження в державних будівельних нормах, надано висновки щодо можливості використання даного конструктивного рішення в масовому виробництві. **Висновок.** Проаналізувавши напружено-деформований стан конструкції, можна визначити можливість її експлуатації. Плита покриття сприймає навантаження від рухомого складу згідно з нормативними документами, не втрачаючи працездатності. Переміщення та напруження, що виникають у конструкції, не перевищують критичних значень, це свідчить про її надійність та можливість подальшого вдосконалення перед упровадженням в масове виробництво.

Ключові слова: трамвайні плити; трамвайний переїзд; безбаластні технології; дорожня плита

ANALYSIS OF THE STRESS-STRAIN STATE FOR A TRAM COATING SLAB WITH DIFFERENT OPTIONS OF BRACING

HRYBENYUK S.M., *Postgrad. Stud.*

Department of Civil Engineering Structures, O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, 17, Marshal Bazhanov St., Kharkiv, 61002, Ukraine, tel. +38 (099) 030-16-63, e-mail: gribenuks@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-9699-9116

Abstract. Problem statement. Before implementing the design solution in mass production, additional factors were investigated and analyzed in the work, such as the violation of the standard slab bracing. **The purpose of the article** - is to continue the research on the use of reinforced concrete slabs as the road surface at tram crossings and overpasses, to analyze the stress-strain state of the road slab used for the installation of ballastless RS tram crossings, in case the nature of its bracing changes. **Results.** The article analyzes the stress-strain state of tram reinforced concrete slabs used as a road surface on crossings, bridges and overpasses. The calculation for the existing road loads in accordance with the state building codes is conducted. Conclusions about the possibility of using this design solution in mass production were given. **Conclusions.** Having analyzed the stress-strain state of the structure, positive conclusions can be drawn about its operation capability. The coating slab takes the load from the rolling stock according to the normative documents and does not lose its serviceability. The movements and stresses occurring in the structure do not exceed critical values, which indicate its reliability and the possibility of further improvement before implementation in mass production.

Keywords: tram slabs; tram crossing; ballastless technology; road slab

Постановка проблеми

У статті [1] розглянуто використання залізобетонних плит як дорожнього покриття трамвайних переїздів. Перед упровадженням цього рішення в масове

виробництво необхідно провести дослідження та аналіз додаткових факторів, таких як порушення стандартного спирання плити. Під стандартним розуміється спирання плити покриття на всі опорні

площадки. В нормативних документах [2–4] говориться що внаслідок допусків на виробництві, під час монтажу конструкції на будівельному майданчику, виходячи з проектних ухилів проїжджої частини та трамвайної колії, опорні площадки можуть перебувати в різних рівнях. Через що стандартне спирання плити стає неможливим. Зважаючи на цей фактор, необхідно виконати аналіз напружено-деформованого стану дорожньої плити, підбір армування та дати висновок про можливість роботи конструкції в цілому.

Аналіз публікацій

Збірні залізобетонні плити дорожнього покриття все частіше застосовуються у всьому світі завдяки швидкому способу їх монтажу і, як наслідок, значному скороченню термінів монтажу об'єктів інфраструктури. Огляд збірних систем і монтажу з'єднання бетонних дорожніх плит, а також особливості збірного покриття автомобільних та трамвайних шляхів виконано у праці [5].

Залізобетонні плити для дорожнього будівництва стали широко розповсюдженими. Вони активно застосовуються у будівництві найбільш навантажених ділянок: аеродромів, автомобільних доріг, трамвайних переїздів тощо [6–9].

Значна перевага застосування збірних плит – це можливість їх монтажу протягом усього року, за будь-якої погоди. Збірні залізобетонні плити не потребують догляду на будівельному майданчику; їх можна укладати на спрощене дорожнє полотно [10].

Мета статті

Продовжити дослідження роботи [1] на предмет аналізу напружено-деформованого стану дорожньої плити, яка застосовується для монтажу трамвайних переїздів за безбаластною технологією RS, у випадку зміни характеру її спирання.

Виклад матеріалу

За технологією RS [3], плита покриття в безбаластній будові колії спирається на опорний елемент ДОЕ1 – аналог залізобетонної шпали, який має відкрите армування. Після того як опорні елементи встановлено в проектне положення, укладається бетонна суміш C25/30.

На завершальному етапі на опорні елементи укладають плити покриття, які спираються на бетонну частину через підкладку. Коли плити укладено в проектне положення, між плитою та монолітним бетоном виникає щілина 40 мм (рис. 1). Тобто плита оперта не на всій площині, а лише в місцях контакту з елементом ДОЕ1 – опорних площадках.

У рамках цього дослідження проведено аналіз впливу порушення структури спирання плити у разі аномальної просадки одного чи декількох опорних елементів плити – ДОЕ1.

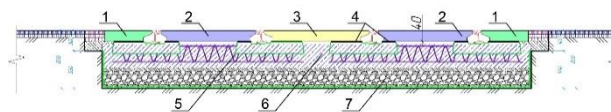


Рис. 1. Розріз безбаластної технології RS, з покриттям бетонними плитами: 1 – зовнішня плита; 2 – дорожня плита; 3 – міждорожня плита; 4 – опорні площадки; 5 – опорний елемент ДОЕ1; 6 – бетон C25/30; 7 – основа зі щербеном 20–40

Дорожні, міждорожні та зовнішні плити мають типорозміри по довжині: 1,2; 1,8, 2,4 та 3,0 м. Для аналізу напружено-деформованого стану плити у разі нерівномірного розташування опор у нашій роботі обрано дорожню плиту розмірами 1,4 × 3,0 м тому, що за конструктивними особливостями системи RS саме ця плита має найменші площадки спирання розміром 15 × 20 см.

Навантаження, на які виконувався розрахунок, прийняті згідно з нормативними документами [11]. Так, характеристичне тимчасове вертикальне навантаження від автотранспорту при проектуванні мостів і труб слід приймати за двома моделями (рис. 2):

- модель 1 – що моделює навантаження від рухомого складу за схемою АК;
- модель 2 – за схемою одиночного колісного навантаження НК.

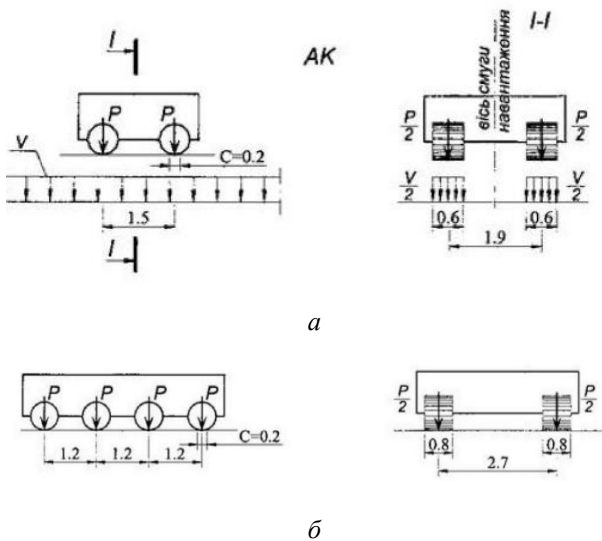


Рис. 2. Моделі дорожніх навантажень: а – модель 1, за схемою АК; б – модель 2, за схемою НК

До розрахунків приймається та модель, що створила в елементах або перерізах споруди найбільш несприятливий ефект.

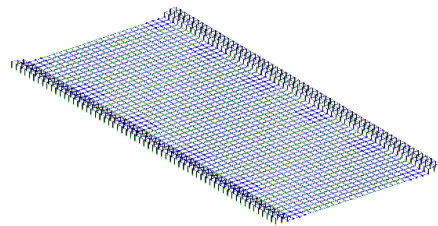
Моделі застосовуються для розрахунку мостів і труб на автомобільних дорогах I–V категорій, на міських автомагістралях і магістральних вулицях загальноміського значення, дорогах і вулицях у міських і сільських населених пунктах [11].

Клас навантаження K для моделі 1 прийнято – $K = 15$, дане значення максимальне для цієї моделі та застосовується для доріг I, II і III категорій, на міських автомагістралях і магістральних вулицях. Аналогічно для моделі 2, виходячи з класу доріг, прийнято НК-100 з навантаженням на вісь $P = 245$ кН (25 тс).

Розрахунок плити виконували в програмному комплексі ПК ЛІРА-САПР, моделювання виконано типом кінцевого елемента «КЕ 41», розміром 50×50 мм. Просторова та скінченноелементна моделі наведено на рисунку 3.



а



б

Рис. 3. Моделі плити покриття в ПК ЛІРА-САПР: а – просторова (3D); б – скінченноелементна

З технологічних особливостей товщина плити з двох боків зменшується з 16 до 5 см. У програмному комплексі бокові грані змодельовані за допомогою «супер-елементів». Навантаження АК-15 від автотранспортних засобів на кожен смугу (шириною 0,6 м) навантаження прийнято у вигляді рівномірно розподіленого з інтенсивністю $v = 14,7$ кН/м, або $v/2 = 12,25$ кН/м.

Тандем із навантаженням на вісь $P = 147,15$ кН. Розмір контакту колеса $0,2 \times 0,6$ м, тоді навантаження на вісь $P/2 = 613,125$ кН/м. Навантаження НК-100 представлено одиночним навантаженням, що являє собою чотиривісний колісний екіпаж із навантаженням на вісь $P = 245$ кН, або $P/2 = 765,625$ кН/м на одне колесо.

Визначення зусиль від завантаження одиночним навантаженням НК виконується за відсутності інших рухомих навантажень. Чотиривісний колісний екіпаж встановлюється тільки в одне місце вздовж напрямку руху, в межах габариту проїзду [11].

Для виявлення навантаження від рухомого складу, яке створюватиме в плиті найбільш несприятливі навантажувальні ефекти, в програмному комплексі задано десять варіантів навантаження (рис. 4), що моделюють різні місця передачі навантаження від рухомого складу, який може перебуває на плиті.

Виконано два варіанти розрахунку: зі стандартним спиранням та не стандартним, коли плита опирається лише на крайні опорні площадки.

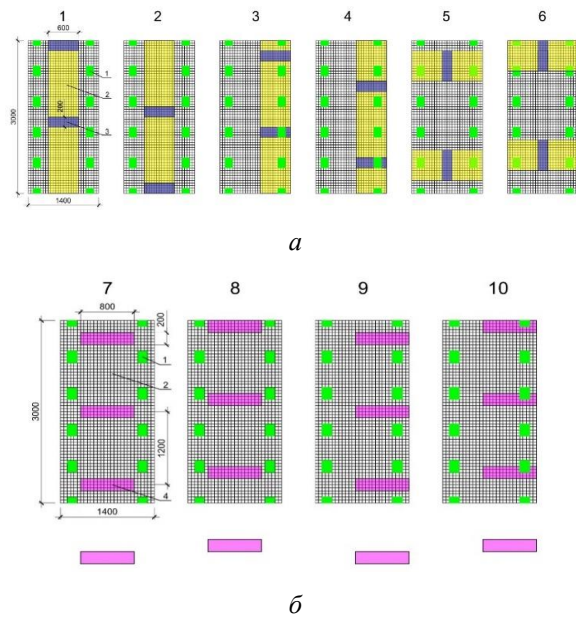
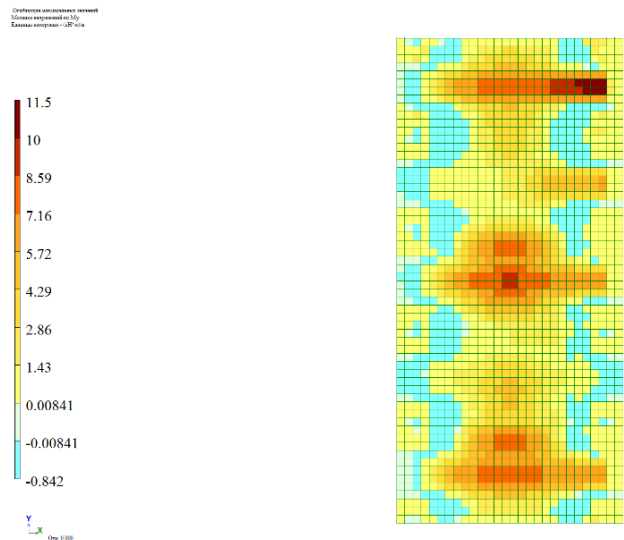
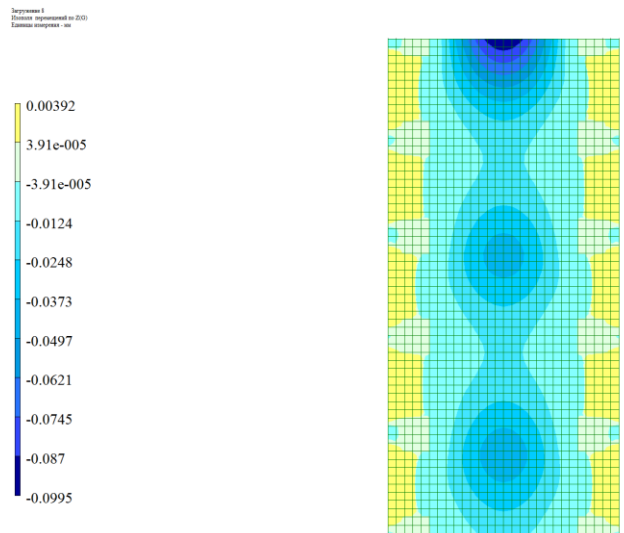


Рис. 4. Варіанти розташування навантаження від рухомого складу: а – за схемою АК-15; б – за схемою НК-100, де 1 – опорна площадка; 2 – смуга навантаження АК-15; 3 – тандем ак-15; 4 – чотиривісний колісний екіпаж (НК-100)

За результатами розрахунку при стандартному опиранні плити переміщення дорівнюють 0,01 мм, максимальний згинальний момент $M_x = 16,8$ кН, $M_y = 11,5$ кН, мінімальний – $M_x = -31,3$ кН, $M_y = -14,2$ кН. Поперечні сили: $Q_x = 1\ 130$ кН/м; $Q_y = 594$ кН/м. За результатом підбору арматури виникають локальні місця екстремумів біля опор. Як основне армування можна прийняти арматуру А400С $\varnothing = 12$ мм із кроком 200 мм. Результати розрахунку показані на рисунку 5.

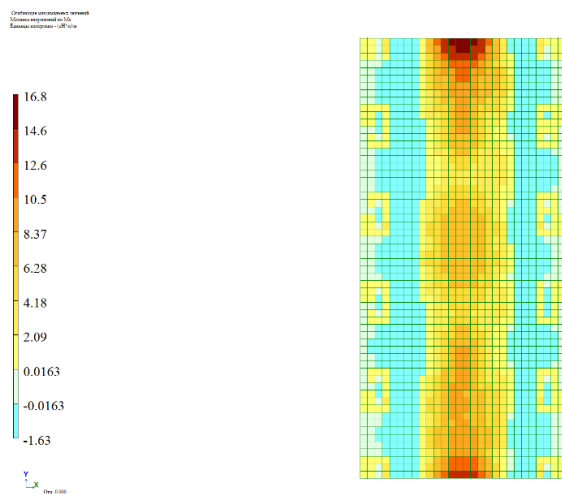


б

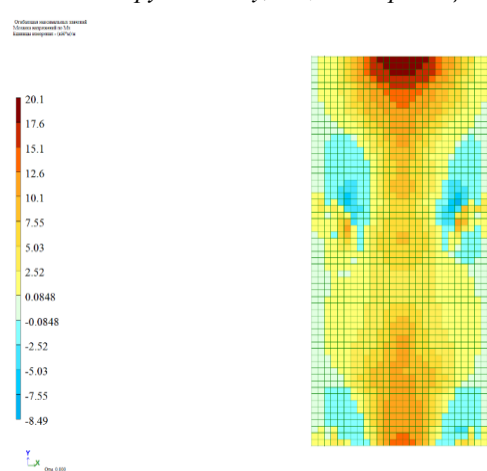


в

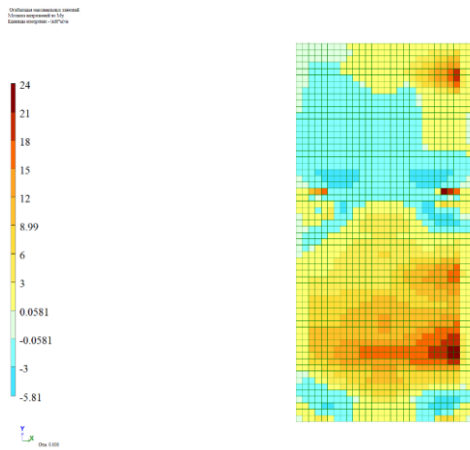
Рис. 5. Результат розрахунку плити покриття в ПК ЛІРА-САПР: а – мозаїка напружень M_x , кН; б – мозаїка напружень M_y , кН; в – переміщення, мм



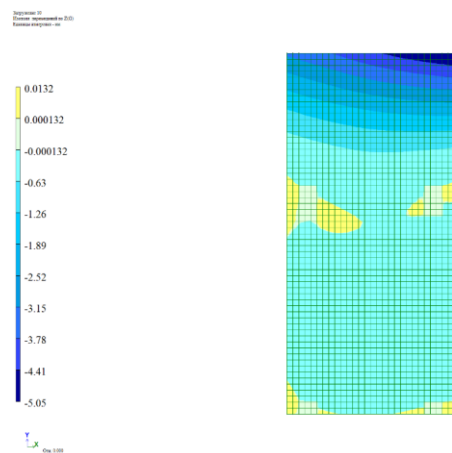
а



а



б



в

Рис. 6. Результат розрахунку плити покриття в ПК ЛІРА-САПР для варіанта з порушеним стандартним спиранням: а – мозаїка напружень M_x , кН; б – мозаїка напружень M_y , кН; в – переміщення, мм

Виконано розрахунок та аналіз напружено-деформованого стану, коли стандартне спирання порушується. Тобто плита опирається не на всі опорні площадки, а лише на дві з кожного боку. За результатами цього розрахунку максимальні

переміщення плити склали 5,5 мм, максимальний згинальний момент $M_x = 20,1$ кН, $M_y = 24,0$ кН, мінімальний – $M_x = -81,7$ кН, $M_y = -206$ кН. Поперечні сили: $Q_x = 2\,430$ кН/м; $Q_y = 1\,840$ кН/м. Під час виконання підбору арматури виникають локальні місця екстремумів усередині прольоту. Як основне армування можна прийняти арматуру А400С $\varnothing = 14$ мм із кроком 200 мм. Результати розрахунку показано на рисунку 6.

Висновки

Проаналізувавши напружено-деформований стан конструкції, можна зробити позитивні висновки про можливість її експлуатації. Плита покриття сприймає навантаження від рухомого складу, згідно з нормативними документами, та не втрачає працездатності. Переміщення та напруження, які виникають у конструкції, не перевищують критичних значень, що свідчить про її надійність та можливість подальшого вдосконалення перед упровадженням в масове виробництво.

У той же час залишаються фактори, які потребують детального аналізу та дослідження. До них можна віднести:

- визначення товщини та прийнятних фізико-механічних характеристик прокладки на опорах плит;
- детальне розроблення вузла кріплення плит.

Ці фактори потребують детального вивчення, що являє собою галузь подальших досліджень.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Калмиков О., Грибенюк С. Конструктивні особливості вузлів примикання трамвайних рейок до дорожнього покриття. *Комунальне господарство міст*. 2021. № 6 (166). С. 94–98. URL: <https://khg.kname.edu.ua/index.php/khg/article/view/5873>
2. ТУ У 23.6-41049388-001:2017. Елементи опорні для залізобетонної збірно-монолітної основи трамвайної колії.
3. ТУ У 42.1-41049388-002:2017. Колія трамвайна безбаластна системи RS.
4. ДБН В.2.3-18:2007. Споруди транспорту. Трамвайні та тролейбусні лінії. Загальні вимоги до проектування. [Чинний від 2008-07-01]. Київ : Мінрегіонбуд України, 2008. 62 с.
5. Mingjing Fang, Ran Zhou, Wenhui Ke, Bo Tian, Yubin Zhang, Jianjun Liu. Precast system and assembly connection of cement concrete slabs for road pavement : a review. *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*. 2022. Vol. 9, iss. 2. Pp. 208–222. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jtte.2021.10.003>.
6. Mauricio Pradena, Lambert Houben. Cost-effective joints configurations of concrete pavements for a sustainable.

7. Infrastructure. *Journal of Transport Literature*. № 9 (2). Pp. 45–49. Apr., 2015. URL: <https://doi.org/10.1590/2238-1031.jtl.v9n2a9>
8. Maryam F. Abdulateef, Hoda A. S. Al-Alwan. The effectiveness of urban green infrastructure in reducing surface urban heat island. *Ain Shams Engineering Journal*. January, 2022. Vol. 13, iss. 1. Pp. 101526. URL: <https://doi.org/10.1016/j.asej.2021.06.012>
9. Radan Tomek. Advantages of Precast Concrete in Highway Infrastructure Construction. *Procedia Engineering*. 2017. Vol. 196. Pp. 176–180. URL: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.07.188>
10. Першаков В. М., Мінов Д. М. Нові технології будівництва автомобільних доріг. *Проблеми розвитку міського середовища*. 2015. № 2. С. 80–88.
11. ДБН В.2.3-26. Споруди транспорту. Мости та труби. Сталеві конструкції. Правила проектування. [Чинні з 1.10.2011]. Київ : Мінрегіонбуд України, 2011. 265 с.

REFERENCES

1. Kalmikov O. and Hrybenyuk S. *Konstruktivni osoblyvosti vuzliv prylykannya tramvaynykh reyok do dorozhn'oho pokryttya* [Design features of nodes connecting tram rails to the road surface]. *Komunal'ne hospodarstvo mist* [Communal Management of Cities]. 2021, no. 6 (166), pp. 94–98. URL: <https://khg.kname.edu.ua/index.php/khg/article/view/5873> (in Ukrainian).
2. *TU U 23.6-41049388-001:2017. Elementy oporni dlia zalizobetonnoi zbirno-monolitnoi osnovy tramvainoi kolii* [TU U 23.6-41049388-001:2017. Support elements for the reinforced concrete precast monolithic base of the tram track]. (in Ukrainian).
3. *TU U 42.1-41049388-002:2017. Koliia tramvaina bezbalastna systemy RS* [TU U 42.1-41049388-002:2017. Tram track without ballast of the RS system]. (in Ukrainian).
4. *DBN V.2.3-18:2007. Sporudy transportu. Tramvaini ta troleibusni linii. Zahalni vymohy do proektuvannia* [DBN V.2.3-18:2007. Transport facilities. Tram and trolley lines. General design requirements]. [Effective from 2008-07-01]. Kyiv: Ministry of Regional Development of Ukraine, 2008, 62 p. (in Ukrainian).
5. Mingjing Fang, Ran Zhou, Wenhui Ke, Bo Tian, Yubin Zhang and Jianjun Liu. Precast system and assembly connection of cement concrete slabs for road pavement : a review. *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*, 2022, vol. 9, iss. 2, pp. 208–222. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jtte.2021.10.003>
6. Mauricio Pradena and Lambert Houben. Cost-effective joints configurations of concrete pavements for a sustainable.
7. Infrastructure. *Journal of Transport Literature*. Apr., 2015, no. 9 (2), pp. 45–49. URL: <https://doi.org/10.1590/2238-1031.jtl.v9n2a9>.
8. Maryam F. Abdulateef and Hoda A.S. Al-Alwan. The effectiveness of urban green infrastructure in reducing surface urban heat island. *Ain Shams Engineering Journal*. January, 2022, vol. 13, iss. 1, pp. 101526. URL: <https://doi.org/10.1016/j.asej.2021.06.012>.
9. Radan Tomek. Advantages of Precast Concrete in Highway Infrastructure Construction. *Procedia Engineering*. 2017, vol. 196, pp. 176–180. URL: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.07.188>.
10. Pershakov V.M. and Minov D.M. *Novi tekhnologii budivnytstva avtomobilnykh dorih* [New technologies of highway construction]. *Problemy rozvytku miskoho seredovyscha* [Problems of the Development of the Urban Environment]. 2015, no. 2, pp. 80–88. (in Ukrainian).
11. *DBN V.2.3-26. Sporudy transportu. Mosty ta truby. Stalevi konstruktsii. Pravyla proektuvannia* [DBN V.2.3-26. Transport facilities. Bridges and pipes. Steel structures. Design rules]. [Effective from 1.10.2011]. Kyiv : Ministry of Regional Development of Ukraine, 2011, 265 p. (in Ukrainian).

Надійшла до редакції: 02.09.2022.