УДК 625.815.5 **DOI 10.33042/2522-1809-2021-6-166-94-98**

О.О. Калмиков, С.М. Грибенюк

Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, Україна

КОНСТРУКТИВНІ ОСОБЛИВОСТІ ВУЗЛІВ ПРИМИКАННЯ ТРАМВАЙНИХ РЕЙОК ДО ДОРОЖНЬОГО ПОКРИТТЯ

У статті розглядається особливості примикання дорожнього покриття до рейок на суміщеному трамвайному полотні, різновиди існуючих рішень по застосуванню в якості дорожнього покриття залізобетонних плит. Розглядається конструктивне рішення запропоноване компанією RS ENGINEERING по використанню залізобетонних плит на безбаластній технології.

Ключові слова: *трамвайні плити, трамвайний переїзд, примикання дорожнього покриття до рейок.*

Постановка проблеми

В сучасному світі пріоритетним напрямком є розвиток екологічно чистого міського електротранспорту. Завдання власників об'єктів інфраструктури полягає у виборі раціонального методу зведення трамвайних переїздів при оптимальному співвідношенні вартості та терміну експлуатації [1]. В Харкові міськими органами влади приділяється значна увага розвитку і реконструкції трамвайних колій (в період з 2008 по 2020 рр. виконано реконструкцію та капітальний ремонт 55 км в одноколійному вимірі), які за роки експлуатації, подекуди, прийшли у непридатний до нормальної експлуатації стан, що підтверджується ледь не повсякденними сходами рухомих трамвайних складів з колій. При цьому, конструктивні рішення, які приймалися при зведені існуючих колій, є застарілими та такими, що не відповідають діючим на даний час нормативним документам.

До однієї з таких проблем відноситься руйнування дорожнього покриття в місцях примикання до трамвайних рейок. Зазвичай означений вузол ділянки шляху виконано у вигляді примикання асфальтового покриття безпосередньо до рейок рис. 1.

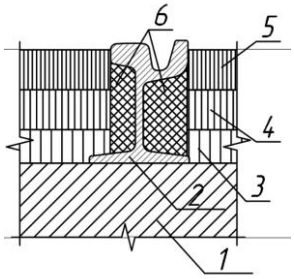


Рис. 1. Вузол примикання а/б до рейок. 1 – основа колії; 2 – рейка типу РТ62; 3 – вирівнюючий шар а/б; 4 – нижній шар а/б; 5 – верхній шар а/б; 6 – недостатньо ущільнені місця асфальту.

При цьому, віброізоляційні прокладки між рейкою та асфальтом, як правило, відсутні, а у якості підстилаючого шару застосовано стандартну підсипку у вигляді щебеневого баласту, яка утворює шар між шпалами і асфальтом у діапазоні 200–450 мм.

а) б)

Рис. 2. Руйнування асфальтобетонного покриття на примиканні до рейок: а) по вул. Плеханівській у м. Харків; б) по вул. Академіка Павлова у м. Харків

Проблема руйнування дорожнього покриття на суміщеному шляху широко розповсюджена. До основних причин такого руйнування можна віднести наступні:

- неможливість достатнього ущільнення асфальтобетону біля рейок;
- низькі показники адгезії металу та асфальту;
- періодичні динамічні навантаження та вібрації від рухомого складу та автомобільного транспорту;
- погана основа трамвайної колії.

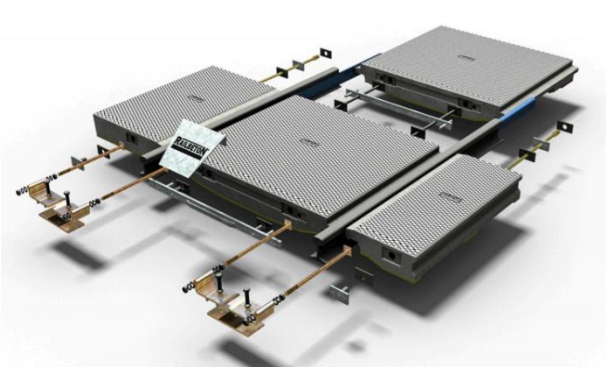
 © Калмиков О.О., Грибенюк С.М.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

В роботах [2, 3] розглянуто питання підвищення експлуатаційних характеристик дорожнього бетону, який застосовується для виготовлення трамвайних плит.

Аналіз та порівняння технологій які використовуються для суміщеного полотна в країнах ЄС наведено в роботах [4, 5, 6], так суміщену колію виконують з малогабаритних плиток або бруківки, гумових або бетонних великогабаритних плит. Найбільш надійним з яких є використання у якості дорожнього покриття в місцях примикання до рейок збірних залізобетонних елементів, які відрізнятимуться значною довговічністю та надійністю. Варіанти застосування такого рішення присутні в Україні та в Європейських країнах. Німецькою компанією RailBeton розроблено рішення для залізничних переїздів BetoCross рис. 3.

а)



б)

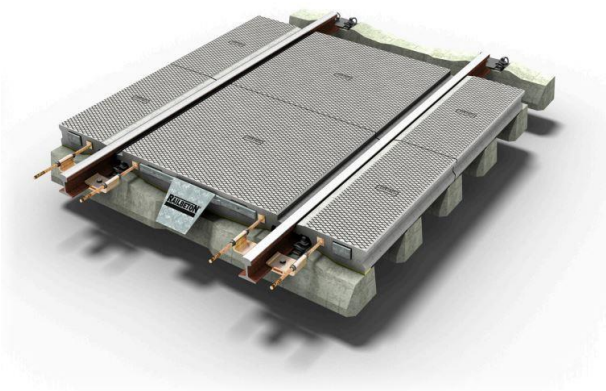


Рис. 3. Переїздний настил сиситеми BetoCross

Дана система RailBeton являє собою модульну конструкцію залізобетонних плит, які стягуються між собою за допомогою стальних стрижнів [7]. За допомогою системи кріплень та підшипників, настил кріпиться до рейок, що забезпечує вертикальну та горизонтальну незмінність їх положення та стабілізацію під дією навантаження. Для зменшення динамічного впливу плити спираються на залізобетонні шпали через проміжні шари еластомеру. Навантаження від автомобільного транспорту передається на щебеневий баласт. В даному випадку еластомер повинен мати високі статичні та динамічні характеристики, які детально описані в роботі [8]. Поряд з позитивними особливостями система BetoCross, через значну кількість з'єднань, стяжок та підшипників, потребує частого обслуговування та спостереження за технічним станом.

В Україні для залізничних переїздів державним підприємством «Старокостянтинівський завод ЗБШ» розроблено схожу технологію, з деякими відмінностями рис. 4 [9].

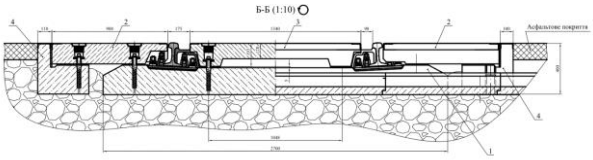


Рис. 4. Розріз залізничного переїзду ДП «Старокостянтинівський завод ЗБШ». 1 – шпала з/б; 2 – плита зовнішня; 3 – плита внутрішня; 4 – балка фундаменту.

В даній технології залізобетонні плити за допомогою шурупного кріплення через гумову прокладку закріплені до спеціальної шпали мостового типу. При кроці шпал 0,6 м плита кріпиться до кожної шпали з двох сторін, при цьому довжина самої плити складає 2,7 м. Тобто, на одну плиту приходиться по п'ять точок кріплення з кожної сторони. Навантаження від автомобільного транспорту, аналогічно німецької технології, передаються на щебеневий баласт та основу.

Перш за все технологічні рішення (RailBeton та ДП «Старокостянтинівський завод ЗБШ») направлені на використання на залізничні переїздах з щебеневим баластом.

Метою статті є огляд запропонованого компанією RS ENGINEERING конструктивного рішення по влаштуванню зазначеного вузла, виявлення його позитивних особливостей та визначення аспектів, потребуючих детального дослідження та наукового обґрунтування. Компанією RS ENGINEERING м. Харків спираючись на світовий та власний досвід у проектуванні лінійних об'єктів транспортної інфраструктури, запропоновано варіант влаштування означеного вузла, який позитивно відрізняється від наведених аналогів рис. 5.

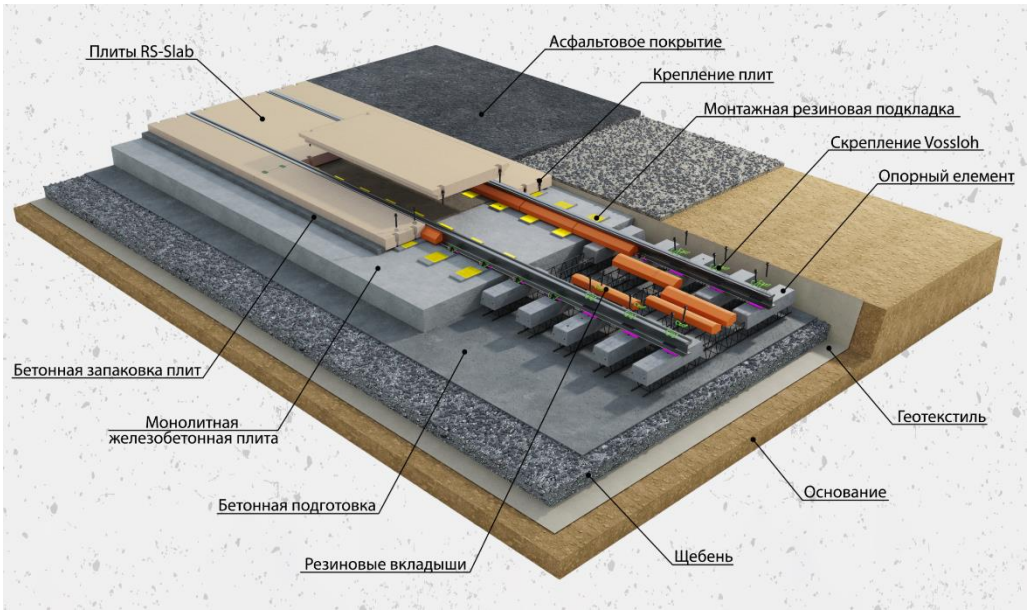


Рис. 5. Технологія RS-Slab для суміщеного трамвайного полотна

Виклад основного матеріалу

В технології RS-Slab на ущільнену щебеневу основу укладаються опорні елементи [10] з відкритим арматурним каркасом, які з'єднуються між собою за допомогою арматури d12 мм класу А400С [11], таким чином утворюється єдиний просторовий каркас на всій довжині трамвайної колії, після чого укладається бетонна суміш. Тобто, замість щебеневого баласту використовується монолітна залізобетонна плита з опорними елементами. Виникаючі навантаження від рухомого складу та транспорту передаються через опорні елементи на бетонну плиту, яка перерозподіляє їх на щебеневу основу. В якості дорожнього покриття застосовуються залізобетонні плити покриття RS-Slab. В залежності від місця розташування плити розділяються на 3 види: шляхові, міжшляхові та зовнішні. Кожний з видів по довжині має чотири типорозміри: 1,18; 1,775, 2,37 та 2,926 м (рис. 6).

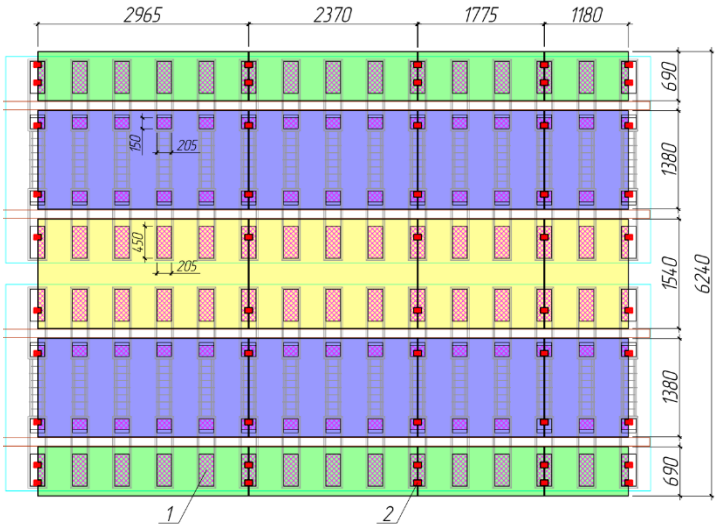


Рис. 6. План-схема з типорозмірами плит. 1 – площадка спирання; 2 – кріплення плити до опорного елемента.

Плита, незалежно від виду та типорозмірів, кріпиться до опорного елементу за допомогою шурупного кріплення в чотирьох точках. Для зменшення динамічного впливу між плитою та опорним елементом укладається гумовий еластомер. В залежності від довжини зовнішні плити мають від 3 до 6 площадок спирання, шляхові та міжшляхові – від 6 до 12. Виходячи з геометричних розмірів опорного елементу, місця спирання мають різні розміри. Зовнішні та міжшляхові плити опираються на площадку розміром 450 × 205 мм, а шляхова – 150 × 205 мм. Також можливий варіант коли плита

одночасно спирається не на всі опорні площадки, ці варіанти необхідно врахувати при розрахунку армування та виборі класу бетону.

Позитивною особливістю даного рішення у порівнянні з наведеними аналогами є поєднання переваг безбаластної технології з залізобетонними плитами покриття. Дане рішення дозволяє вирішити проблеми руйнування дорожнього покриття на примиканні до рейок, витримує більші навантаження від транспорту, порівняно з асфальтом.

В той же момент, існують фактори, які потребують детального дослідження при розробці та перед впровадженням рішення в масове виробництво. До них відноситься:

- дослідження впливу порушення стандартного спирання збірних плит на напружено-деформований стан елемента;
- визначення товщини та прийнятних фізико механічних характеристик прокладки на опорах плит;
- детальна розробка вузла кріплення плит.

Висновки

Застосування залізобетонних плит в якості дорожнього покриття має ряд переваг перед асфальтобетоном: стійкість до руйнування на примиканні до рейок; монтаж незалежно від погодних та температурних умов; стійкість до навантажень від вантажівок та ін. Проаналізувавши запропоноване компанією RS ENGINEERING рішення, можна зробити висновок про його конкурентоздатність з відомими аналогами. Водночас дане рішення має певні особливості, які потребують детального вивчення, що являє собою галузь подальших досліджень.

Література

1. Grossberger H. Lifecycle Based User Value Analysis of Rail - Road Level Crossings: Probabilistic Approach Using Monte Carlo Simulation / H. Grossberger, C. Mauler, F. Michelberger // Procedia Engineering. – 2017. – 178. – PP. 409–418. DOI: https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.01.079

2. Boikova T. Concrete for road pavements / T. Boikova, D. Solovyov, V. Solovyova // Procedia Engineering. – 2017. – 189. – PP. 800–804. DOI: https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.05.124

3. Толмачов С.М. Проблеми підвищення міцності дорожніх бетонів на розтяг / С.М. Толмачов, О.О. Рідкозубов, Д.С. Захаров // Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві. – 2015. – Вип. 4. – С. 219–225.

4. Dąbrowski A. Rodzaje nawierzchni na przejazdach kolejowo-drogowych i ich wprowadzanie do obrotu / A. Dąbrowski, G. Stencel // Zeszyty Naukowo-Techniczne Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Komunikacji w Krakowie. Seria: Materiały Konferencyjne. – 2016. – nr. 2(109). – PP. 47–68. URL: http://yadda.icm.edu.pl/yadda/element/bwmeta1.element.baztech-9f506942-1caf-4dfc-bf68-8dcf8d581cb5

5. Kwiatkowska E. Jakość eksploatacyjna i wibroizolacyjność nawierzchni przejazdów kolejowo – drogowych / E. Kwiatkowska // Przegląd Komunikacyjny. – 2017. – R. 72, nr 10. – PP. 12–14. URL: http://www.transportation.overview.pwr.edu.pl/UPLOAD/BAZA-ARTYKULOW/PL/2017/10/A_PL_17_10_03.pdf

6. Szewczyk A. Konstrukcja nawierzchni bezpodsypkowych / Szewczyk A., Radomski R., Grulkowski S. // Materiały XII Konferencja Naukowa Drogi Kolejowe´2003. Gdańsk-Sobieszewo, 15–17 Października. – 2003. – PP. 383–394.

7. The level crossing system for mainline railways and trams BETOcross [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://en.betocross.de (дата звернення 22.10.2021 р.)

8. Kraskiewicz C. Static and dynamic characteristics of resilient mats for vibration isolation of railway tracks / C. Kraskiewicz. C. Lipko, M. Pludowska, W. Oleksiewicz, A. Zbiciak // Procedia Engineering. – 2016. – 153. – PP. 317–324. DOI: https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.08.122

9. Старокостянтинівський завод залізобетонних шпал [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://starzbs.at.ua/ (дата звернення 22.10.2021 р.)

10. ТУ У 23.6-41049388-001:2017 – Елементи опорні для залізобетонної збірно-монолітної основи трамвайної колії.

11. ТУ У 42.1-41049388-002:2017 – Колія трамвайна безбаластна системи RS.

References

1. Grossberger, H., Mauler, C., Michelberger, F. (2017). Lifecycle Based User Value Analysis of Rail - Road Level Crossings: Probabilistic Approach Using Monte Carlo Simulation. *Procedia Engineering*, 178, 409–418. DOI: https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.01.079

2. Boikova, T., Solovyov, D., Solovyova, V. (2017). Concrete for road pavements. *Procedia Engineering*, 189, 800–804. DOI: https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.05.124

3. Tolmachov, S.M., Ridkozubov, O.O., Zakharov, D.S. (2015). The problem of increasing the tensile strength of road concrete. *Modern technologies and methods of calculations in construction*, 4, 219–225. [in Ukrainian]

4. Dąbrowski, A., Stencel, G. (2016). The types of surfaces on level crossings and placing on the market. *Zeszyty Naukowo-Techniczne Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Komunikacji w Krakowie. Seria: Materiały Konferencyjne*, 2(109), 47–68. URL: http://yadda.icm.edu.pl/yadda/element/bwmeta1.element.baztech-9f506942-1caf-4dfc-bf68-8dcf8d581cb5 [in Polish]

5. Kwiatkowska, E. (2017) Quality and vibration isolation of Level crossing. *Transportation Overview*, 72(10), 12–14. URL: http://www.transportation.overview.pwr.edu.pl/UPLOAD/BAZA-ARTYKULOW/PL/2017/10/A_PL_17_10_03.pdf [in Polish]

6. Szewczyk, A., Radomski, R., & Grulkowski, S. (2003). Construction of slab pavements. *Materiały XII Konferencja Naukowa Drogi Kolejowe´2003. Gdańsk-Sobieszewo*, 15–17 Października 2003, 383–394. [in Polish]

7. The level crossing system for mainline railways and trams BETOcross (2020). URL: https://en.betocross.de (accessed 22.10.2021).

8. Kraskiewicz, C., Lipko, C., Pludowska, M., Oleksiewicz, W., Zbiciak, A. (2016). Static and dynamic characteristics of resilient mats for vibration isolation of railway tracks. *Procedia*

Engineering, 153, 317–324. DOI: https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.08.122
9. Starokostyantynivs'kyy Zavod Zalizobetonnykh Shpal (2021). URL: https://starzbs.at.ua/ (accessed 22.10.2021). [in Ukrainian]
10. TU U 23.6-41049388-001:2017 – Support elements for reinforced concrete prefabricated monolithic base of the tram track. [in Ukrainian]
11. TU U 42.1-41049388-002:2017 – RS system ballastless tram track. [in Ukrainian]

Рецензент: д-р техн. наук, професор В.С. Шмуклер, Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, Україна.

Автор: КАЛМИКОВ Олег Олександрович
кандидат технічних наук
Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова
E-mail – olegkalmikov010@gmail.com

Автор: ГРИБЕНЮК Сергій Миколайович
аспірант
Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова
E-mail – gribenuks@gmail.com

STRUCTURAL FEATURES OF THE ASSEMBLIES OF THE JOINING OF TRAM RAILS TO ROAD COVERAGE

O. Kalmykov, S. Hrybeniuk
O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Ukraine

In the modern world, the priority is the development of clean urban electric transport. The constructive solutions used in the construction of the tram wheel in the past years are outdated and do not meet modern requirements. One of these problems is the destruction of asphalt coating in the places of road coverage to tram rails, which worsens the operational characteristics of tram crossings. The reasons for this problem can be attributed to the following: Not enough asphalt concrete near the rails; low adhesion of asphalt and metal from which rails are made; dynamic loads and vibrations arising from trams and motor transport; bad base of tram train and others.

One of the options for increasing reliability and durability is to use as a road covering of tram plates. This solution is used in Ukraine and the European Union. German company RailBeton developed solutions for railway crossings - BetoCross. This system is a modular construction of reinforced concrete slabs, which are pulled together by steel strips. With the help of a system of fastenings and bearings, the flooring is fastened to rails, which provides vertical and horizontal stability of their position and stabilization under the influence of loading. To reduce the dynamic influence, the plates are based on reinforced concrete sleepers through the intermediate layers of the elastostomer. The load from the automobile transport is transferred to the broken beam. In addition to the positive features, the BetoCross system, due to the large number of connections, ties and bearings, requires frequent maintenance and maintenance. The Ukrainian state enterprise "Starokostiantyniv plant ZBSH" developed a similar technology, reinforced concrete plates with the help of a screw fastening through rubber gasket fixed to a special bridge type wallpaper. At a step of wallpaper 0,6 m the plate is attached to each wallpaper from two sides, with the length of the plate itself is 2,7 m. that is, on one plate there are five points of fastening on each side. Loads from the automobile transport, similar to the German technology, are transferred to the rubble balast and the basis. These technological solutions have found their application on railway crossings, and need some improvement for use in urban electric transport.

The article reviews the constructive decision on the organization of the mentioned site, which is proposed by RS ENGINEERING in Kharkov. In the proposed solution instead of the crushed balast used monolithic reinforced concrete slab with supporting elements. The arising loads from the rolling stock and transport are transferred through the supporting elements to the concrete slab, which redistributes them on the rubble basis. As a road cover are used reinforced concrete plates covering RS-Slab. The plates are divided into 3 types: Road, interroad and external, which in turn have several sizes. The plates are bound to the supporting elements by means of screws in four points. To reduce dynamic influence between the film and the reference element, a rubber elastomer is laid. Depending on the size of the plates have different number of cutting sites. Also because of the design features possible option when the slab simultaneously relies not on all the supporting sites, these options should be taken into account when calculating the scale and choosing a class of concrete. This solution allows to solve the problems of road surface destruction on the side of the rails, keeps more load from transport, compared to asphalt. At the same time, there are factors that need to be studied in detail when designing and before implementing the solution in mass production. These include: Investigation of the influence of violation of standard assembly plates on the stress-deformed state of the element; determination of thickness and acceptable physical characteristics of the gasket on the plate supports; detailed development of a node for fixing plates.

The use of reinforced concrete plates as a road coating has a number of advantages before asphalt concrete: Resistance to destruction on the rails; installation regardless of weather and temperature conditions; resistance to loads from trucks. At the same time, this decision has certain peculiarities that require detailed study, which is a branch of further research.

Keywords: *tram crossings, tram plates, railway crossings.*