

Д.А. Зайнагабдинов, В.В. Басов

Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Российская Федерация

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ИЗГОТОВЛЕНИЕ НАТУРНОЙ МОДЕЛИ ПЛИТЫ БЕЗБАЛЛАСТНОГО МОСТОВОГО ПОЛОТНА

Аннотация. История возникновения безбалластного мостового полотна берет свое начало с возникновения балластного мостового полотна на деревянных поперечинах, мостовое полотно на деревянных поперечинах отличается малой массой (0,8 т на 1 метр длины) и хорошими динамическими качествами, но главный недостаток его состоит в больших эксплуатационных расходах и малой долговечности, а также в дефицитности требуемого лесоматериала и большой трудоемкости устройства. Это мостовое полотно и применение его на новых мостах в связи с перечисленными недостатками сокращается. Некоторое применение имело полотно на металлических поперечинах.

В настоящее время вместо полотна на поперечинах все чаще укладывают новое железобетонное безбалластное мостовое полотно с креплением рельсов через резиновые прокладки непосредственно к железобетонным плитам. Безбалластное мостовое полотно с ездой на железобетонных плитах на сегодняшний день является одной из самых распространенных конструкций, применяемых на железнодорожных мостах.

В виду того, что в лабораторных условиях исследование работы реальной безбалластной железобетонной плиты мостового полотна крайне затруднительно, возникла необходимость изготовления модели железобетонной плиты уменьшенного масштаба. Для изготовления модели плиты был разработан проект, создана цифровая трехмерная модель, была изготовлена опалубка уменьшенного масштаба, связаны арматурные каркасы, изготовлены все необходимые закладные детали. При бетонировании были выполнены все основные технологические операции, как и при изготовлении реальных безбалластных мостовых плит, в результате чего были получены модели железобетонных плит для дальнейших лабораторных исследований.

Ключевые слова: безбалластное мостовое полотно, плита, модель

D.A. Zainagabdinov, V.V. Basov

Irkutsk State Transport University, Irkutsk, the Russian Federation

DESIGN AND MANUFACTURING OF A LOCAL MODEL OF A BALLASTLESS BRIDGE PLATE

Abstract. The history of the emergence of a ballastless bridge web originates from the emergence of a ballast bridge web on wooden crossbars, the bridge web on wooden crossbars is characterized by low weight (0.8 tons per 1 meter of length) and good dynamic qualities, but its main drawback is high operating costs and low durability, as well as the scarcity of the required timber and high labor intensity devices. This is a bridge deck and its use on new bridges is reduced due to the listed disadvantages. A canvas on metal crossbars had some use.

Currently, instead of the canvas on the crossbars, a new reinforced concrete ballastless bridge fabric is increasingly being laid with rails attached through rubber gaskets directly to reinforced concrete slabs. A ballastless bridge deck with a ride on reinforced concrete slabs is today one of the most common structures used on railway bridges.

In view of the fact that it is extremely difficult to study the work of a real reinforced concrete slab of a ballastless bridge deck in laboratory conditions, it became necessary to manufacture a model of a reduced-scale reinforced concrete slab. A project was developed for the manufacture of the plate model, a digital three-dimensional model was created, a reduced-scale formwork was made, reinforcement frames were connected, all the necessary embedded parts were made. During concreting, all the main technological operations were performed, as well as in the manufacture of real ballastless bridge deck slabs, as a result of which models of reinforced concrete slabs were obtained for further laboratory studies.

Keywords: ballastless bridge deck, slab, model

Введение

Подрельсовое основание является составной частью единой конструкции железнодорожного пути и одним из наиболее ответственных элементов верхнего строения пути (ВСП). С начала строительства в нашей стране первых железных дорог основным типом подрельсового основания стали шпалы. Качественное изменение шпал с течением времени определялось

развитием научно-технического прогресса, появление дополнительных знаний о процессе их работы в пути, различными условиями эксплуатации, технико-экономическим обоснованием, а также исходным материалом [1, 2].

С ростом нагрузок на ВСП все более масштабное внедрение получает безбалластная конструкция пути. [3–5].

Одними из самых распространенных конструкций безбалластного мостового полотна на данный момент являются мостовое полотно с деревянными мостовыми брусками или поперечинами и мостовое полотно с ездой на железобетонных плитах (плиты БМП).

В отличие от традиционного балластного, путь с бетонными плитами имеет многие преимущества, включая сохранение геометрических параметров в течении длительного времени и снижение затрат на обслуживание [6–8]. Однако в зоне мостов и других искусственных сооружений он работает в специфических условиях [6–9], вызванных значительно большими деформациями подрельсового основания из-за колебаний пролетных строений [6].

Первые плиты БМП были применены в начале 70-х гг XX в. В 1961 г. специалистами института Ленгипротрансмост был разработан первый проект плиты. С конца 80-х гг. БМП стали массово использоваться при реконструкции старых и при строительстве новых железнодорожных мостов. К преимуществам плит БМП относятся: длительный срок службы; более равномерная передача нагрузок от подвижного состава на несущие конструкции; предохранение от коррозии и загрязнения конструкции проезжей части пролетных строений; снижение эксплуатационных расходов, плиты обеспечивают безопасный проход по мосту подвижного состава в случае схода колесных пар с рельсов [10, 11].

Плита представляет собой плоский железобетонный элемент, верхняя поверхность которого выполняется двускатной с уклоном в полевые стороны. На верхней поверхности расположены опорные площадки под рельсы и охранные уголки. Плита имеет систему сквозных отверстий для прикрепления рельсов, охранных уголков к плите и самой плиты к верхним поясам балок пролетного строения. По верхней поверхности плиты, кроме того, расположены выступающие вверх площадки для размещения уплотнителей и опорных шайб элементов крепления плиты к балкам. В зависимости от длины вдоль пути плиты БМП бывают 4 типов: [12–15]:

1. Плита БМП типа П1, с длиной вдоль пути 1390 мм.
2. Плита БМП типа П2, с длиной вдоль пути 1490 мм.
3. Плита БМП типа П3, с длиной вдоль пути 1890 мм.
4. Плита БМП типа П4, с длиной вдоль пути 1990 мм.

В виду того, что в лабораторных условиях исследование работы реальной железобетонной плиты БМП крайне затруднительно, из-за ее габаритов и большого веса, возникла необходимость изготовления модели железобетонной плиты уменьшенного масштаба.

Реализация задачи

В лаборатории «Содержание и реконструкция мостов и тоннелей» кафедры «Строительство железных дорог, мостов и тоннелей» Иркутского государственного университета путей сообщения для изучения фактической работы мостов в рамках учебного процесса и решения практических научных задач успешно используется натурная модель пролетного строения. Модель представляет собой уменьшенную копию металлического пролетного строения с главными фермами с ездой понизу расчетным пролетом 33 м, масштаб модели 1:7,86 (рис.1). Укладка мостового полотна на плитах БМП да данной модели позволит смоделировать и наглядно продемонстрировать работу пути на мосту.

Для изготовления модели плиты был разработан проект, создана цифровая трехмерная модель в системе автоматизированного проектирования и черчения *AutoCAD* (рис. 2), при создании цифровой модели были также учтены наличия отверстий для крепления плиты к балке, крепления контруголка, площадка для опорной шайбы под гайкой высокопрочной шпильки и слезник, на основе созданной модели с помощью 3D принтера был распечатан макет плиты БМП. Плита была приложена к модели пролетного строения, были внесли необходимые корректировки.



Рис. 1. Модель металлического пролетного строения

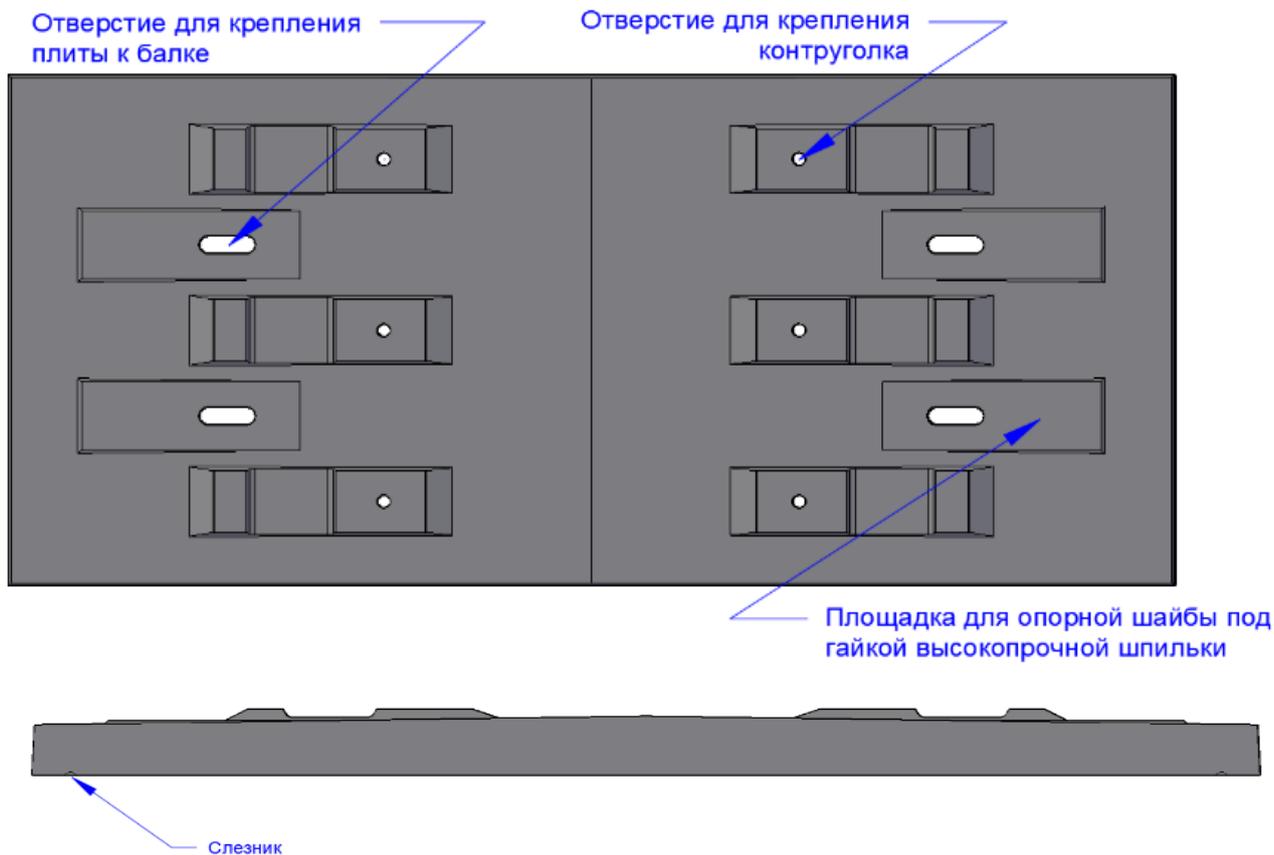


Рис. 2. Цифровая модель плиты безбалластного мостового полотна

В соответствии с требованиями по укладке мостового полотна принята следующая раскладка моделей плит, для крайней панели – 3хП1+П4, для промежуточных панелей – П2 + П4 + П2. Раскладка плит показана на рис. 3.

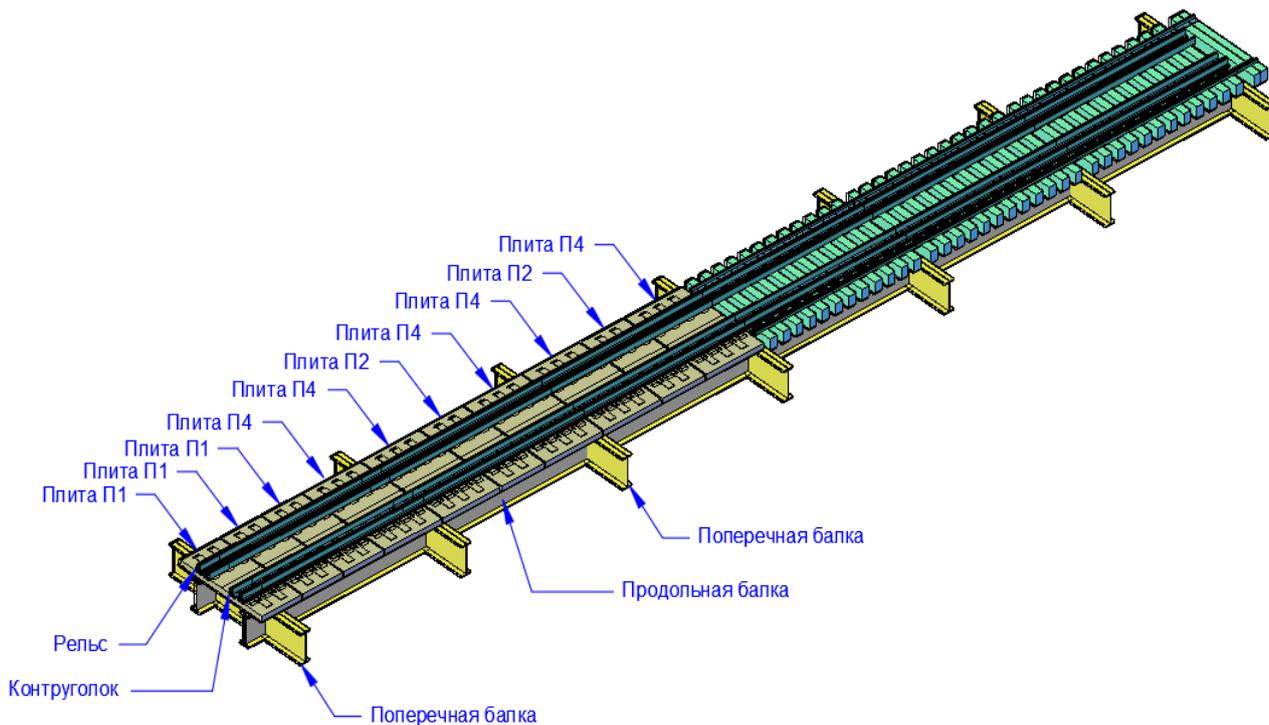


Рис. 3. Раскладка плит безбалластного мостового полотна

Плиты безбалластного мостового полотна следует изготавливать на специализированных агрегатнопоточных технологических линиях, оборудованных виброустановками для формирования изделий в горизонтальном положении. Параметры виброплощадки должны обеспечивать качественное уплотнение жесткой бетонной смеси [12].

Для производства моделей плит на основе проекта была изготовлена деревянная опалубка уменьшенного масштаба. В опалубку уложены пластиковые вкладыши, формирующие выступающие части плиты. Связаны каркасы из арматуры диаметром 3 мм, в верхней сетке расположено 12 продольных и 6 поперечных арматурных стержней, в нижней сетке аналогично, изготовлены и установлены в опалубку закладные детали (рис 4). Перед укладкой бетонной смеси произведена смазка внутренней поверхности опалубки и закладных деталей, формирующих отверстия.

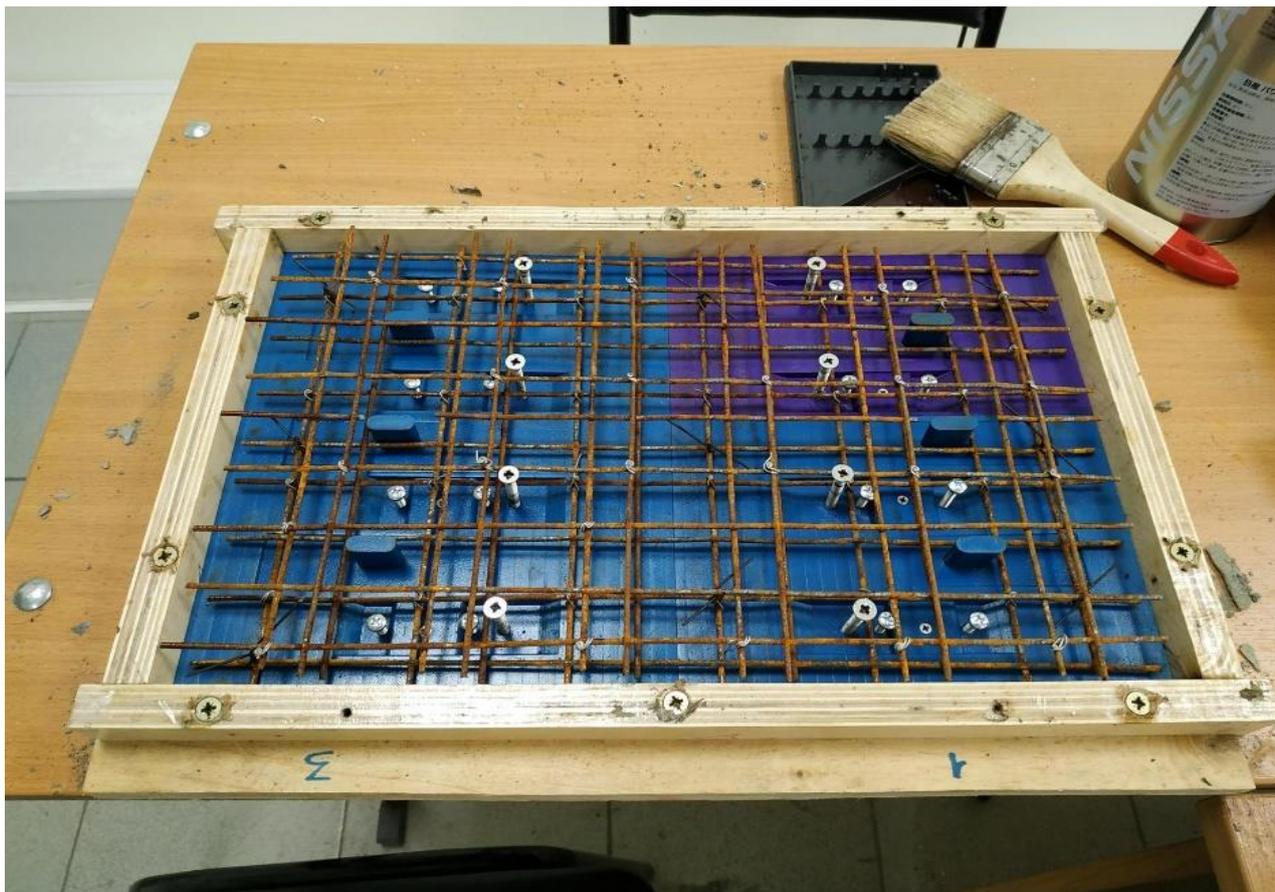


Рис. 4. Опалубка для бетонирования плиты безбалластного мостового полотна

Также был произведен подбор бетонной смеси, использовался цемент марки М400, в качестве заполнителя использован мытый песок фракции до 3 мм. Для увеличения прочности бетона на растяжения и увеличения трещиностойкости в состав смеси была добавлена микрофибра. После укладки и уплотнения смеси опалубка была обернута пленкой. Набор прочности происходил при комнатной температуре и при сто процентной влажности, периодически поверхность смачивалась чтобы не допустить образования трещин, тем самым были выполнены мероприятия по уходу за бетоном при твердении. После набора прочности бетона плиты были извлечены из опалубки. На рис. 5 приведена фотография готовой модели плиты. Соблюдение технологии изготовления железобетонных плиты позволило избежать появления дефектов, трещин и сколов в бетоне не обнаружено.

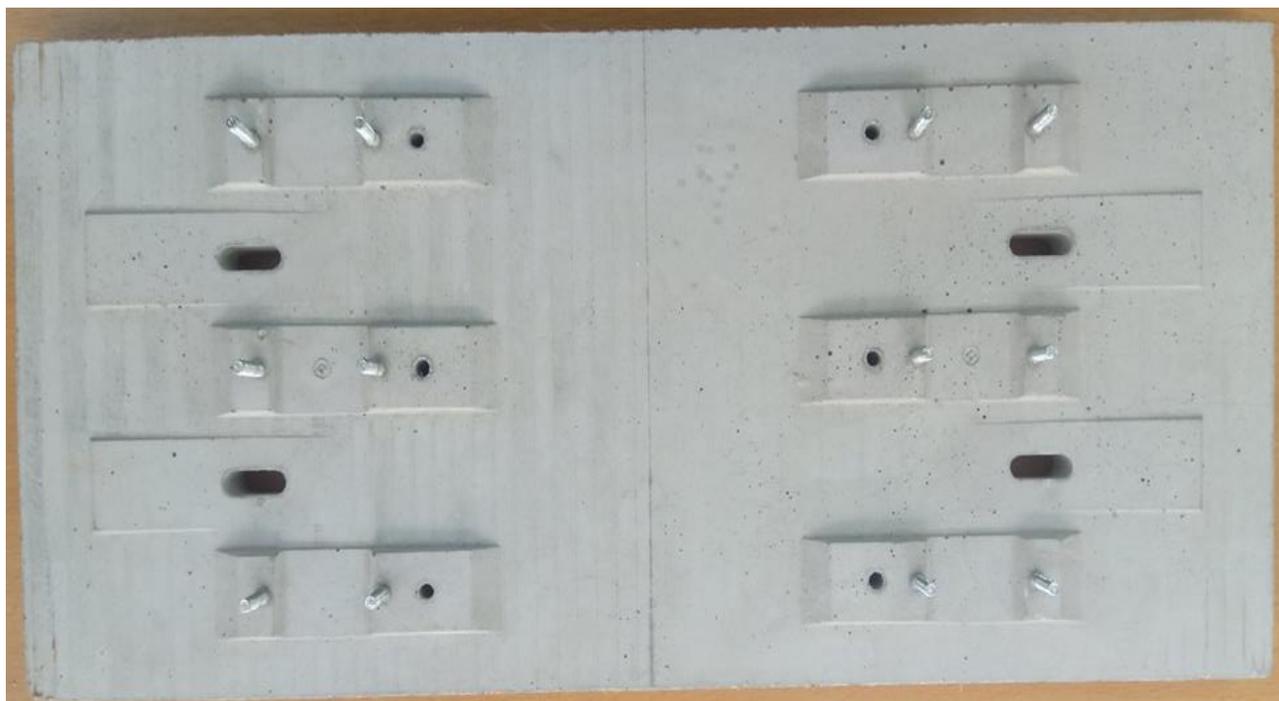


Рис. 5. Готовая модель железобетонной плиты безбалластного мостового полотна

Сборные железобетонные конструкции следует рассчитывать не только на стадии эксплуатации, но и на стадии изготовления и монтажа. На стадии эксплуатации в некоторых случаях в бетоне не возникают растягивающие напряжения, поэтому может сложиться ошибочное мнение, что арматура в таком случае не нужна. Но на стадии изготовления, транспортирования и монтажа в железобетонных изделиях могут возникать усилия, отличные от стадии эксплуатации, как по величине, так и по знаку. В некоторых случаях характер работы железобетонного элемента кардинально отличается, например, блоки сборочной тоннельной обделки на стадии эксплуатации работают на внецентренное сжатие, но при транспортировке и монтаже работают на изгиб. В рамках поставленной задачи из остатков бетонной смеси была изготовленная плита, не имеющая арматурного каркаса. В ходе извлечения из опалубки плита лопнула. Это было вызвано появлением растягивающих напряжений при изгибе во время извлечения. Наличие фибры в бетоне не обеспечивает необходимой прочности изделия. Таким образом фибра улучшает некоторые характеристики бетона, но не способна выполнять функции рабочей арматуры.

Выводы

В рамках поставленной задачи была изучена и воспроизведена технология изготовления плит БМП, в результате чего были получены модели железобетонных плит для дальнейших лабораторных исследований.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Разуваев А.Д., Цыпин П.Е. Оценка экономической эффективности строительства безбалластного пути на эстакадах // Экономика железных дорог. 2016. № 2. С.81–85.
2. Разуваев А.Д., Цыпин П.Е. Безбалластная конструкция пути: история, современность, перспективы развития в России // Транспорт Российской Федерации. 2018. № 1 (74). С. 66-70.
3. Сидоренко А.А. Моделирование работы безбалластной конструкции верхнего строения железнодорожного пути // Modern directions of theoretical and applied researches. 2014. URL: sworld.com.ua/konfer34/593.pdf (Дата обращения: 25.04.2022).
4. Michas G. Speed railways. Royal Institute of Technology (KTH). Sweden, Stockholm. 2012. 107 p.
5. Jang S.Y., Lee H.S. Korea railroad research institute. South Korea, Uiwang. 2008. 68 p.

6. Об утверждении инструкции по содержанию искусственных сооружений: распоряжение ОАО «РЖД» №2193/р от 02.10.2020: в ред. 03.11.2021. М.: ОАО «РЖД», 2021. 78 с.
7. Xuhui He, Teng Wu, Yunfeng Zou, Y Frank Chen, Hui Guo & Zhiwu Yu Recent developments of high-speed railway bridges in China Structure and Infrastructure Engineering, Volume 13, 2017, Issue 12, pp 1584–1595, DOI: 10.1080/15732479.2017.1304429.
8. Савин А.В. Выбор конструкции безбалластного пути // Вестник ВНИИЖТ. 2014. №1. С.55–59.
9. Поляков В Ю. О некоторых особенностях работы верхнего строения пути на подходах к искусственным сооружениям // Сб. науч. трудов МИИТ. 1983. Вып. 739. С. 103–107.
10. Алтынников Д.С., Ковенькин Д.А. Анализ деформаций железнодорожного пути на участках подходов к металлическим мостам с безбалластным мостовым полотном на Восточно-Сибирской железной дороге // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2017. № 4 (56). С. 176–183.
11. Об утверждении инструкции по устройству и конструкции мостового полотна на железнодорожных мостах ОАО «РЖД»: распоряжение ОАО «РЖД» №28/р от 14.01.2019. М.: ОАО «РЖД», 2019. 171 с.
12. Об утверждении и введении в действие ОСТ 32.72-97: Указание МПС России от 29.01.1997. N С-118у. М.: МПС России, 1997. 19 с.
13. Инструкция по применению и проектированию безбалластного мостового полотна на железобетонных плитах на металлических пролетных строениях железнодорожных мостов. М.: Транспорт, 1995. 39 с.
14. Тановицкий Ю.Ю. Напряженно-деформированное состояние элементов проезжей части на безбалластном мостовом полотне металлических мостов: дис. канд. техн. наук. М.: 2010, 188 с.
15. Поляков В.Ю., Данг Нгок Тхань. Безбалластное мостовое полотно на ВСМ // Мир транспорта. 2018. Т. 16. № 2 (75). С. 36–55.

REFERENCES

1. Razuvaev A.D., Tsypin P.E. Otsenka ekonomicheskoi effektivnosti stroitel'stva bezballastnogo puti na estakadakh [Assessment of the economic efficiency of the construction of a ballastless track on overpasses]. *Ekonomika zheleznikh dorog [Economics of Railways]*, 2016, No 2, pp. 81–85.
2. Razuvaev A.D, Tsypin P.E. Bezballastnaya konstruktsiya puti: istoriya, sovremennost', perspektivy razvitiya v Rossii [Ballastless construction of the way: history, modernity, prospects of development in Russia]. *Transport Rossiiskoi Federatsii [Transport of the Russian Federation]*, 2018, No 1 (74), pp. 66–70.
3. Sidorenko A.A. Modelirovanie raboty bezballastnoi konstruktsii verkhnego stroeniya zheleznodorozhnogo puti [Modeling of the operation of a ballastless structure of the upper structure of a railway track]. Modern directions of theoretical and applied researches. 2014. Available at: sworld.com.ua/konfer34/593.pdf (Accessed April 25, 2022).
4. Michas G. Speed railways. Royal Institute of Technology (KTH). Sweden, Stockholm. 2012. 107 p.
5. Jang SY, Lee HS Korea railroad research institute. South Korea, Uiwang. 2008. 68 p.
6. Rasporyazhenie ОАО «RZhD» №2193/r от 02.10.2020 (v red. 03.11.2021) «Ob utverzhdenii instruktsii po sodержaniyu iskusstvennykh sooruzhenii» [Order of JSC «Russian Railways» No 2193/r dated October 02, 2020 (ed. November 03, 2021) «On approval of the instructions for the maintenance of manmade structures»]. Moscow: RZhD Publ., 2021, 78 p.
7. Xuhui He, Teng Wu, Yunfeng Zou, Y Frank Chen, Hui Guo & Zhiwu Yu Recent developments of high-speed railway bridges in China Structure and Infrastructure Engineering, Volume 13, 2017, Issue 12, pp 1584–1595, DOI: 10.1080/15732479.2017.1304429.
8. Savin A.V. Savin A.V. Vybor konstruktsii bezballastnogo puti [The choice of a ballastless path design]. *Vestnik VNIIZhT [Bulletin of the All-Russian Scientific-Research Institute of Railway Transport]*, 2014, No 1, pp. 55–59.

9. Polyakov V Yu. O nekotorykh osobennostyakh raboty verkhnego stroeniya puti na podkhodakh k iskusstvennym sooruzheniyam [About some features of the work of the upper structure of the path on approaches to artificial structures]. *Sbornik nauchnykh trudov MIIT [Proceedings of scientific papers of Moscow Institute of Engineers of railway transport]*, 1983, Vol. 739, pp. 103–107.
10. Al'tynnikov D.S., Koven'kin D.A. Analiz deformatsii zheleznodorozhnogo puti na uchastkakh podkhodov k metallicheskim mostam s bezballastnym mostovym polotnom na Vostochno-Sibirskoi zheleznoi doroge [Analysis of railway track deformations on sections of approaches to metal bridges with a ballastless bridge deck on the East Siberian Railway]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemyi analiz. Modelirovanie [Modern technologies. System analysis. Modeling]*, 2017, No 4 (56), pp. 176–183.
11. Rasporyazhenie OAO «RZhD» №28/r ot 14.01.2019 «Ob utverzhdenii instruksii po ustroistvu i konstruktsii mostovogo polotna na zheleznodorozhnykh mostakh OAO «RZhD» [Order of JSC «Russian Railways» No 28/r dated January 14, 2019 «On approval of the instructions for the construction and construction of the bridge deck on railway bridges of JSC «Russian Railways»]. Moscow: RZhD Publ., 2019, 171 p.
12. Ukazanie MPS Rossii ot 29.01.1997. N S-118u «Ob utverzhdenii i vvedenii v deistvie OST 32.72-97» [Instruction of the Ministry of Railways of Russia dated January 29, 1997 N C-118u «On the approval and implementation of Industry Standard 32.72-97»]. Moscow: MPS Publ., 1997. 19 p.
13. Instruksiya po primeneniyu i proektirovaniyu bezballastnogo mostovogo polotna na zhelezobetonnykh plitakh na metallicheskiykh proletnykh stroeniyakh zheleznodorozhnykh mostov [Instructions for the use and design of a ballastless bridge deck on reinforced concrete slabs on metal spans of railway bridges]. Moscow: Transport Publ., 1995. 39 p.
14. Tanovitskii Yu.Yu. Napryazhenno-deformirovannoe sostoyanie elementov proezzhei chasti na bezballastnom mostovom polotne metallicheskiykh mostov [The stress-strain state of the elements of the carriageway on the ballastless bridge deck of metal bridges]. Ph.D.'s thesis. Moscow, 2010. 188 p.
15. Polyakov V.Yu., Dang Ngok Tkhan. Bezballastnoe mostovoe polotno na VSM [Ballastless bridge deck on high-speed railways]. *Mir transporta [World of transport]*, 2018, Vol. 16, No 2, pp. 36–55.

Информация об авторах

Зайнагабдинов Дамир Альфридович – к. т. н., доцент кафедры строительства железных дорог, мостов и тоннелей, Иркутский государственный университет путей и сообщения, г. Иркутск, e-mail: damirmt@mail.ru

Басов Василий Владимирович – студент кафедры строительства железных дорог, мостов и тоннелей, Иркутский государственный университет путей и сообщения, г. Иркутск, e-mail: Vasilijbasov6@gmail.com

Information about the authors

Damir Al'fridovich Zainagabdinov – Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor of the Department of Building of railways, bridges and tunnels, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: damirmt@mail.ru

Vasilii Vladimirovich Basov – student of the Department of Building of railways, bridges and tunnels, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: Vasilijbasov6@gmail.com