

УДК 625.35

### Обоснование системы технического обслуживания и ремонтов перспективных конструкций пути высокоскоростных магистралей

**В. П. Бельтюков, А. В. Андреев**

Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Российская Федерация, 190031, Санкт-Петербург, Московский пр., 9

**Для цитирования:** Бельтюков В. П., Андреев А. В. Обоснование системы технического обслуживания и ремонтов перспективных конструкций пути высокоскоростных магистралей // Бюллетень результатов научных исследований. — 2022. — Вып. 3. — С. 128–136. DOI: 10.20295/2223-9987-2022-3-128-136

#### Аннотация

**Цель:** Разработать предложения по системе ведения путевого хозяйства на участках с уложенными безбалластными конструкциями пути в связи с тем, что опыт эксплуатации таких конструкций отсутствует. **Методы:** В ходе исследования проведен анализ прогнозируемой стоимости жизненного цикла конструкции пути. Этот анализ основан на исследовании таких показателей, как дефектность элементов верхнего строения пути (рельсы, скрепления, шпалы), анализ расчетных затрат на содержание пути с применением методов экспертной оценки. Экспертная оценка предусматривает применение корректирующего коэффициента, показывающего по каждой работе отношение объемов работ на безбалластном пути к объему работ на балластном пути. **Результаты:** На основе стоимостных расчетов и технологий производства ремонтов был произведен анализ межремонтных схем участков с балластом и участков с безбалластной конструкцией и сделаны выводы о требуемой межремонтной схеме для безбалластной конструкции пути. **Практическая значимость:** Результаты исследования предназначены для разработки системы планирования работ по техническому обслуживанию и ремонту пути безбалластной конструкции.

**Ключевые слова:** Путевое хозяйство, железнодорожный путь, безбалластный путь, путевая работа, межремонтный цикл, стоимость жизненного цикла, затраты на содержание пути.

#### Введение

Главной особенностью в эксплуатации проектируемых высокоскоростных магистралей является наличие конструкций как балластного, так и безбалластного пути.

Затраты на техническое обслуживание балластной конструкции пути могут быть рассчитаны по действующим нормативам железных дорог с учетом корректирующих коэффициентов, учитывающих установленные скорости движения поездов.

Затраты на содержание безбалластной конструкции пути должны определяться с применением экспертных методов на основании имеющихся данных по предполагаемым объемам работ по техническому обслуживанию и ремонтам верхнего строения пути ВСМ, с применением отдельных расчетов, с вводом корректирующих коэффициентов, основанных на зарубежных аналогах и результатах испытаний безбалластных конструкций пути.

В настоящее время имеется несколько вариантов конструкции безбалластного пути.

Их можно классифицировать по месту нахождения упругих элементов в конструкции пути. Упругие элементы в этой конструкции обязательны, так как, в отличие от пути на балласте, у него повышенная жесткость, что может привести к экстремальным динамическим нагрузкам при движении поездов с высокими скоростями даже при наличии незначительных коротких неисправностей или нарушении плавности рельсовых нитей на большой длине, потому как динамическая составляющая нагрузки пропорциональна квадрату скорости и обратно пропорциональна радиусу траектории движения колеса по рельсу (по неисправности или кривому участку пути).

Российские железные дороги испытывают несколько различных конструкций безбалластного пути.

Во-первых, это безбалластный путь Rheda (компания Rail.One, Германия) [1–3], в частности уложенный на линии Санкт-Петербург — Москва, представляющий собой отдельные подрельсовые опоры, омоноличенные в бетоне. Омоноличивание бетона производится на месте работ.

Путь конструкции NBT (компания ALSTOM, Франция) [4, 5] представляет собой две скользящие плиты, одна над другой. Он изготавливается и укладывается на месте комплексом техники со скользящей опалубкой.

Путь конструкции EBS (компания TINES, Польша) [6] — это омоноличенные в железобетонную плиту бетонные опорные блоки. Плита устраивается на месте на слое тощего бетона.

Конструкция пути FF-Bögl (компания Max Bögl, Германия) [7] представляет собой армированную заводскую железобетонную плиту, укладываемую на слой тощего бетона.

Конструкция LVT компании ОАО «РЖДстрой» (Россия), Sonneville (Швейцария) [8]. Это путь пониженной вибрации (low vibration track). Его основное

отличие — наличие резинового вибропоглощающего чехла в дополнение к стандартным амортизирующим прокладкам.

Кроме того, имеются материалы по конструкциям и работе безбалластного пути для легкорельсового транспорта, проведенные в ПГУПС [9–12].

Для любой из этих конструкций пути неприменимы стандартные межремонтные схемы, предусматривающие капитальные ремонты пути (замена путевой решетки), средние ремонты (очистка щебня), подъемочные ремонты и планово-предупредительные выправки пути (замена дефектных элементов пути и подъемка или выправка пути на балласте). Все эти ремонты пути не могут применяться в безбалластной конструкции ввиду отсутствия как путевой решетки, так и балластного слоя.

Поэтому необходима разработка и обоснование других межремонтных схем специально для безбалластного пути.

Определение коэффициента, учитывающего затраты на работы по текущему содержанию пути

Обоснование рациональной межремонтной схемы может опираться на теорию стоимости жизненного цикла железнодорожного пути.

Для расчета стоимости жизненного цикла надо определить общие затраты на содержание конструкции на протяжении всего жизненного цикла. Для верхнего строения пути жизненный цикл — это период от его укладки при одном капитальном ремонте, реконструкции или строительстве до следующего капитального ремонта, при котором верхнее строение пути заменяется.

Для балластной конструкции пути методика расчета предусматривает суммирование следующих затрат:

- затраты на укладку пути при капитальном ремонте (реконструкции, строительстве), включая все затраты на проектные, изыскательские работы, приобретение материалов и собственно выполнение работ;

- затраты на промежуточные ремонты пути (средний, подъемочный, планово-предупредительная выправка);

- затраты на текущее содержание пути, включая неотложные работы по устранению отказов и планово-предупредительные работы;

- затраты на демонтаж верхнего строения пути и его утилизацию;

- в случае повторного использования старогодной конструкции или ее реализации из стоимости жизненного цикла вычитается возвратная стоимость.

Для безбалластного пути таких данных пока нет в достаточном количестве, поэтому расчеты можно выполнять несколькими способами:

- укрупненные расчеты сметы устройства безбалластной конструкции пути — для определения капитальных затрат;

- разработка и обоснование межремонтной схемы для безбалластной конструкции пути и укрупненные сметные расчеты по предполагаемым видам ремонтов;
- определение объемов работ текущего содержания экспертным методом и применение при расчете стоимости жизненного цикла корректирующих коэффициентов.

Особенности конструкции безбалластного пути рассмотрены с целью определения корректирующего коэффициента, учитывающего изменение затрат на работы текущего содержания пути, по сравнению с затратами на текущее содержание балластной конструкции пути. Корректирующий коэффициент принят по результатам анализа расходов на содержание скоростных участков пути действующей скоростной железной дороги, с выделением объемов работ, которые изменяются на участках безбалластной конструкции пути. Расчет по определению коэффициента снижения трудозатрат на безбалластной конструкции пути, по сравнению с балластной конструкцией пути, произведен с учетом экспертных оценок снижения затрат по каждой группе работ текущего содержания по следующей формуле:

$$D_{\text{безб}} = \frac{\sum (A_{\text{бал-}i} \cdot d_{\text{безб-}i})}{100 \%},$$

где  $A_{\text{бал-}i}$  — доля затрат труда на  $i$ -ю группу работ определена по отчетным данным баз данных железной дороги;  $d_{\text{безб-}i}$  — отношение трудозатрат по  $i$ -й группе работ на безбалластной конструкции пути к затратам на балластной конструкции пути.

При расчете корректирующего коэффициента по статистическим данным определялись трудозатраты для балластной конструкции пути и предполагаемые объемы работ на безбалластной конструкции пути. Отдельно рассматривалась технология содержания каждого элемента пути и влияние особенностей безбалластной конструкции пути на объемы работ текущего содержания.

В результате расчетов получено, что затраты труда на работы текущего содержания пути должны приниматься с понижающим коэффициентом 0,47 по сравнению с затратами труда на работы текущего содержания при конструкции верхнего строения железнодорожного пути на балласте.

Фактические сроки службы конструкции ВСП на балласте и безбалластного верхнего строения пути при реализации современных методов содержания и ремонтов пути составляют 40 и 60 лет соответственно [9]. Срок службы безбалластного верхнего строения пути составляет 1,5–2 срока службы ВСП на балласте, т. е. 45–60 лет при сроке службы балластной конструкции, равном 30 лет.

## Составление межремонтной схемы для безбалластной конструкции пути

На основе стоимостных расчетов и технологий производства ремонтов был произведен анализ межремонтных схем участков с балластом и участков с безбалластной конструкцией и сделаны выводы о требуемой межремонтной схеме для безбалластной конструкции пути.

Особенности предлагаемой схемы следующие.

1. Вследствие невозможности замены рельсошпальной решетки стандартной технологией: требуется полный демонтаж всей конструкции.

2. Длительный срок службы безбалластного основания (50–60 лет и более).

3. Срок службы рельсовых плетей обусловлен двумя факторами:

– пропущенным тоннажем;

– вертикальным износом вследствие интенсивного шлифования рельсов.

4. Планово-предупредительная выправка и средние ремонты пути при безбалластной конструкции не производятся.

5. В состав подъемочного ремонта входит замена дефектных элементов скреплений, ожидаемая периодичность его 300–400 млн т, или 10–15 лет.

6. Вследствие повышенной вибрации пути требуется более частое периодическое шлифование рельсов для снижения шума и динамического воздействия на пути и подвижной состав.

В таблице и на рисунке приведены принятые в расчете ремонтные схемы и периодичности ремонтов пути для балластной конструкции пути, безбалластной конструкции пути и стрелочных переводов.

Принятые в схеме обозначения:

Условные обозначения:

Р — реконструкция пути (для новых линий — новое строительство, для последующих циклов — капитальный ремонт на новых материалах или реконструкция пути);

С — средний ремонт пути на балласте;

П — подъемочный ремонт пути на балласте;

Пб — подъемочный ремонт безбалластного пути;

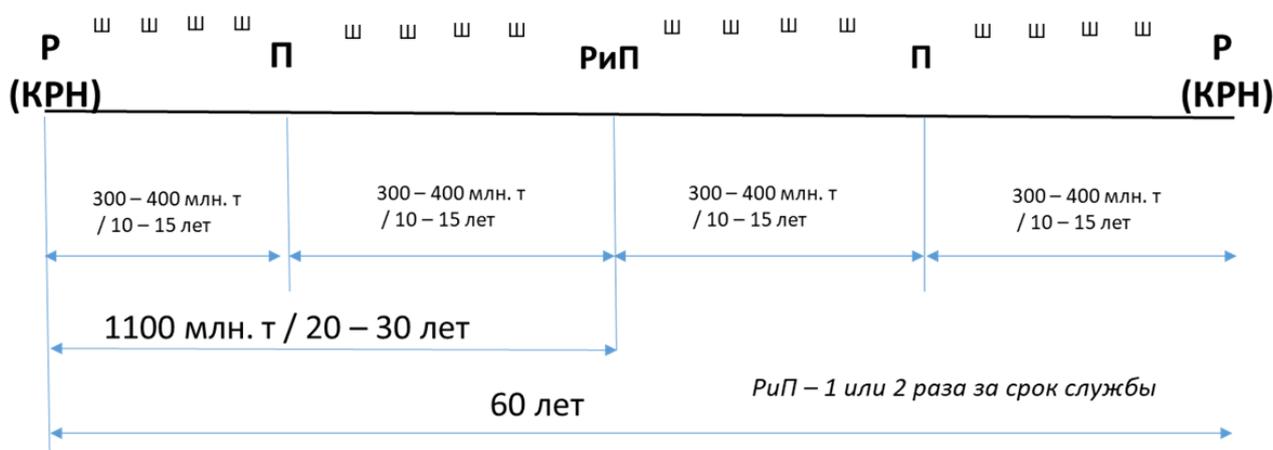
В — планово-предупредительная выправка ремонта пути на балласте;

КРН — капитальный ремонт пути или стрелочных переводов на новых материалах;

РП — сплошная смена рельсов, сопровождаемая работами в объеме подъемочного ремонта.

Предлагаемая периодичность капитального ремонта различных конструкций пути и  
ремонтные схемы

Тип пути	Нормативные сроки выполнения реконструкции и капитального ремонта пути, млн т. брутто/лет, для рельсов категории В	Виды путевых работ и очередность их выполнения за межремонтный цикл
Бесстыковой с высокоскоростным движением ( $V$ до 250 км/ч)	1100/30	Р—В—С—В—КРН
Путь на безбалластном основании	1100/60	Р—Пб—Пб—Пб—РиП—Пб—Пб—Пб—КРН
Стрелочные переводы	1100/30	Р—В—В—К <sub>н</sub> —В—В—К <sub>н</sub>



Предполагаемая межремонтная схема для безбалластного пути

В межремонтной схеме для пути на балласте предусмотрены следующие виды ремонтов:

- капитальный ремонт пути на новых материалах;
- средний ремонт пути;
- планово-предупредительный ремонт пути.

Для ремонтов пути на безбалластном основании рассмотрена схема выполнения ремонтов с периодичностью капитальных ремонтов пути более 50 лет, с выполнением ремонтов пути, по объемам соответствующих подъемочным ремонтам с периодичностью 7,5 лет, но без проведения выправочных работ с подбивкой шпал. В результате интенсивного проведения работ по шлифовке рельсов возникает потребность выполнения работ по сплошной смене рельсов, сопровождаемой работами в объеме подъемочного ремонта пути после 30 лет эксплуатации пути (РП).

В межремонтной схеме для безбалластной конструкции пути предусмотрены следующие виды ремонтов:

- капитальный ремонт пути на новых материалах;
- подъемочный ремонт безбалластной конструкции пути;
- сплошная смена рельсов.

Для стрелочных переводов предусмотрена схема выполнения ремонтов, предусматривающая следующие виды:

- капитальный ремонт стрелочных переводов на новых материалах;
- планово-предупредительный стрелочных переводов.

Во всех схемах предусмотрено периодическое планово-предупредительное шлифование рельсов и стрелочных переводов в соответствии с периодичностью, установленной Техническими указаниями по шлифованию рельсов. Работы по шлифованию рельсов включены в состав ремонтов пути в соответствии с классификацией путевых работ, установленной Техническими условиями ТУ-75р.

## Библиографический список

1. Feste Fahrbahn Rheda 2000 Rail.One (in German). — April 2011. — Pp. 2f. — Retrieved 17 September 2017.
2. Joaquín J. PonsIgnacio Life cycle assessment of a railway tracks substructures: Comparison of ballast and ballastless rail tracks / Joaquín J. PonsIgnacio, V. Sanchis, V. Yepes // Environmental Impact Assessment Review 19 July 2020
3. Kolos A. F. Full — Scale Study of Stress-strain State of Ballastless Upper Structure Construction of Rail Way in Terms of Train Dynamic Load / A. F. Kolos, T. M. Petrova, A. O. Makhonina // Procedia Engineering. — 2017. — Vol. 189. — Pp. 429–433.
4. Robertson I. Advantages of a new ballastless trackform / I. Robertson, C. Masson, J. M. Vanzenberg // Construction and Building: Materials 1 September 2015ю. — Vol. 92. — Pp. 16–22.
5. An accurate method for fast assessment of under slab mats (USM) performance in ballastless track structures.
6. Zbiciak A. Construction and Building / A. Zbiciak, C. Kraškiewicz, J. Pełczyński // Materials 25 June 2021. — Vol. 300 (Cover date: 20 September 2021). — Article 123953.
7. Firmengruppe M. B. Hochgeschwindigkeit in China mit FF Bögl / M. B. Firmengruppe // MB Quadrat (in German). — 2010. — Pp. 18f.
8. Kruglikov A. Strengthening of the railway ballast section shoulder with two-component polymeric binders / A. Kruglikov, V. Yavna, Z. Khakiev // Transportation Geotechnics. — June 2017. — Vol. 11. — Pp. 133–143.
9. Савин А. В. Выбор конструкции пути для высокоскоростного движения / А. В. Савин // Вестник ВНИИЖТ. — 2014. — Вып. 1. — С. 55–59.
10. Garbaruk V. V. Application of Fiber-reinforced Concrete in Tram Track Foundation / V. V. Garbaruk, E. P. Dudkin, V. A. Ivliev // Procedia Engineering. — 2017. — Vol. 189. — Pp. 836–840.

11. Dudkin E. P. Justification and Expansion of Spheres of Application of the Tram / E. P. Dudkin, K. A. Smirnov, S. A. Doronicheva // *Procedia Engineering*. — Vol. 189. — Pp. 848–853.

12. Dudkin E. P. Methods of Noise and Vibration Protection on Urban Rail Transport / E. P. Dudkin, L. A. Andreeva, N. N. Sultanov // *Procedia Engineering*. — Vol. 189. — Pp. 829–835.

Дата поступления: 21.03.2022

Решение о публикации: 27.04.2022

#### **Контактная информация:**

БЕЛЬТЮКОВ Владимир Петрович — д-р техн. наук, проф.; [bw@peterlink.ru](mailto:bw@peterlink.ru)

АНДРЕЕВ Андрей Викторович — ассистент; [oddman@bk.ru](mailto:oddman@bk.ru)

## **Substantiation for Maintenance and Repair System for Promising Structure of High-Speed Railway Tracks**

**V. P. Beltiukov, A. V. Andreev**

Emperor Alexander I Petersburg State Transport University 9, Moskovsky pr., Saint Petersburg, 190031, Russian Federation

**For citation:** Beltiukov V. P., Andreev A. V. Substantiation for Maintenance and Repair System for Promising Structure of High-Speed Railway Tracks. *Bulletin of scientific research results*, 2022, iss. 3, pp. 128–136. (In Russian) DOI: 10.20295/2223-9987-2022-3-128-136

#### **Summary**

**Objective:** To create proposals on the system of maintenance for track facilities on the sections with ballastless constructions because the experience in maintaining of such structures is absent. **Methods:** During the study, the analysis of being predicted life cycle cost of track structure was made. This analysis is based on the study of indicators such as defectiveness of track superstructure elements (rails, fasteners, sleepers), the analysis of being estimated costs on repairing the track using expert evaluation methods. The expert assessment provides for the application of special correction factor. This factor for each maintenance job shows the ratio of job volumes on ballastless track to job volumes on ballast railway track. **Results:** On the basis of cost calculations and technologies for maintenance, an analysis was pursued of overhaul schemes for sections with ballast railway and for ones with ballastless construction and conclusions were made on required overhaul scheme for a ballastless track structure. **Practical importance:** The study results are intended to develop a system for planning technical maintenance and repairs of a ballastless superstructure track.

**Keywords:** Railway track facilities, railway track, ballastless railway track, railway track maintenance job, overhaul cycle, life cycle cost, railway track maintenance costs.

#### **References**

1. Feste Fahrbahn Rheda 2000 Rail.One (in German). April 2011. pp. 2f. Retrieved 17 September 2017.

2. Joaquín J. PonsIgnacio, Villalba Sanchis, Víctor Yepes. Life cycle assessment of a railway tracks substructures: Comparison of ballast and ballastless rail tracks Environmental Impact Assessment Review19 July 2020
3. Kolos A. F, Petrova T. M, Makhonina A. O. Full — Scale Study of Stress-strain State of Ballastless Upper Structure Construction of Rail Way in Terms of Train Dynamic Load. *Procedia Engineering*, 2017, vol.189, pp. 429–433.
4. Robertson I., Masson C., Vanzenberg J. M. Advantages of a new ballastless trackform. *Construction and Building Materials*1 September 2015, vol. 92, pp. 16–22.
5. An accurate method for fast assessment of under slab mats (USM) performance in ballastless track structures
6. Artur Zbiciak, Cezary Kraśkiewicz, Jan Pełczyński *Construction and Building Materials*25 June 2021Vol. 300 (Cover date: 20 September 2021) Article 123953
7. Firmengruppe Max Bögl: “Hochgeschwindigkeit in China mit FF Bögl” MB Quadrat (in German). 2010. pp. 18f.
8. Kruglikov A, Yavna V., Khakiev Z. Strengthening of the railway ballast section shoulder with two-component polymeric binders. *Transportation Geotechnics*June 2017, vol. 11, pp. 133–143.
9. Savin A. V. Vybor konstruksii puti dlya vysokoskorostnogo dvizheniya [Choice of track design for high-speed traffic]. *Vestnik VNIIZhT* [Vestnik VNIIZhT]. I. 1, 2014, pp. 55–59. (In Russian)
10. Garbaruk V. V., Dudkin E. P., Ivliev V. A. Application of Fiber-reinforced Concrete in Tram Track Foundation. *Procedia Engineering*. 2017, I. 189, pp. 836–840.
11. Dudkin E. P., Smirnov K. A., Doronicheva S. A. Justification and Expansion of Spheres of Application of the Tram. *Procedia Engineering*. 2017, I. 189, pp. 848–853.
12. Dudkin E. P., Andreeva L. A., Sultanov N. N. Methods of Noise and Vibration Protection on Urban Rail Transport. *Procedia Engineering*. 2017, I. 189, pp. 829–835.

Received: March 21, 2022

Accepted: April 27, 2022

**Author’s information:**

Vladimir P. BELTIUKOV — Dr. Sci. in Technical Sciences, Professor; bw@peterlink.ru

Andrey V. ANDREEV — Assistant; oddman@bk.ru