

УДК 625.172

Особенности работы верхнего строения пути в условиях продолжительного зимнего периода

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. Особенности работы верхнего строения пути в условиях продолжительного зимнего периода // Известия Петербургского университета путей сообщения. — СПб.: ПГУПС, 2022. — Т. 19. — Вып. 2. — С. 203–209. DOI: 10.20295/1815-588X-2022-2-203-209

Аннотация

Цель: Определение закономерностей изменения технического состояния верхнего строения пути на участках, расположенных в зонах с суровыми климатическими условиями с целью проектирования системы содержания пути в условиях Арктики. **Методы:** В ходе исследования проведен анализ таких основных показателей технического состояния верхнего строения пути как дефектность его элементов (рельсы, скрепления, шпалы, загрязненность балласта) и отступления от норм геометрических параметров рельсовой колеи (уширения, сужения, положение по уровню, перекосы, просадки, положение в плане). Анализ данных производился в соответствии с разработанной моделью зависимости изменения параметров технического состояния верхнего строения пути от наработки тоннажа и срока в годах. **Результаты:** На основании наблюдений определено изменение затрат на содержание пути на линиях, расположенных в условиях продолжительного зимнего периода в части неисправностей рельсовой колеи и дефектности элементов верхнего строения пути. **Практическая значимость:** Результаты исследования предназначены для разработки системы планирования работ по техническому обслуживанию и ремонту пути в условиях сурового климата.

Ключевые слова: Арктическая зона, верхнее строение пути, система содержания пути в условиях Арктики, путь в условиях сурового климата, затраты на содержание пути.

Введение

В предлагаемой статье рассмотрены результаты анализа работы верхнего строения пути на участках с продолжительностью зимы 5 месяцев и более.

При подготовке исследования был предварительно проведен анализ исследований по моделированию изменения показателей технического

состояния пути в зависимости от наработки тоннажа (рис. 1).

Часто встречаются простые линейные и степенные зависимости, которые не учитывают природу работы пути во времени.

Использование логарифмических зависимостей (у В. В. Мишина [1, 2]), полиномов различной степени [3] также не описывает работу пути,

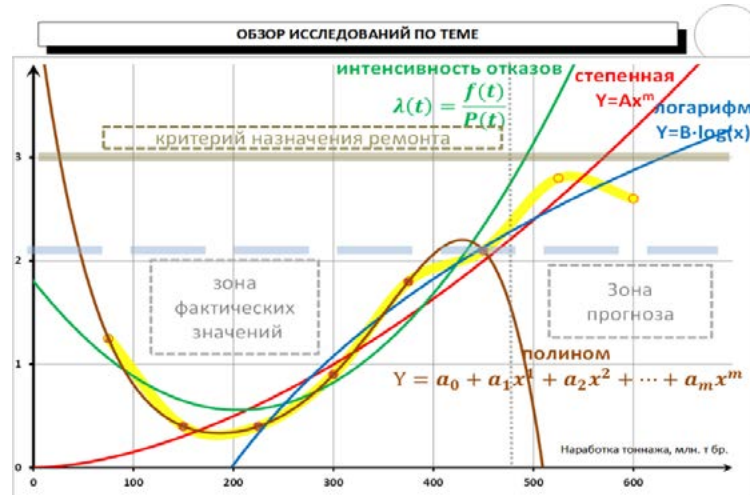


Рис. 1. Обзор использованных различными исследователями моделей работы железнодорожного пути (зависимость изменения показателей состояния верхнего строения от наработки)

а часто дает совершенно неверные и невероятные результаты.

В последнее время используется модель интенсивности отказов теории надежности. Глубоко она проработана в работах Кумара [4], Зоетмана [5], Патры [6]. В ОАО «РЖД» она применена в методологии УРРАН (применительно к различным конструкциям и условиям — например, в работах [7, 8]). Но она также не описывает работу такой восстанавливаемой конструкции пути, как железнодорожный путь.

В результате анализа моделей выявлено, что ни одна из моделей не описывает правильно изменение состояния пути в ходе эксплуатации.

Методика анализа

В результате была предложена модель [9, 10], описывающая работу пути в виде четырех периодов:

- первый период — приработка на протяжении наработки нескольких миллионов тонн пропуска тоннажа;

- второй период — нормальной эксплуатации, стабильно низкое количество неисправностей пути;

- третий период — это период ухудшения состояния пути, накопление числа неустранен-

ных неисправностей и рост числа отказов и предотказов.

Продолжительность третьего периода обусловлена объемом затрат на текущее содержание пути и интенсивностью движения поездов;

- четвертый период можно выделить на участках с низкой грузонапряженностью. На них состояние пути может стабилизироваться при некотором более высоком количестве неустраненных неисправностей.

Модель работы пути во времени может быть представлена в следующем виде (рис. 2)

Эта модель может быть описана зависимостью для любого параметра состояния пути Y от наработки тоннажа или срока эксплуатации в годах x :

$$Y = B \frac{m}{t_0} x^{m-1} + C + A \left[1 - e^{-\left(\frac{x}{\beta}\right)^\alpha} \right] \left[\frac{\eta}{\frac{x}{\beta} \ln \eta + 1} \right], \quad (1)$$

где первый член описывает постепенное уменьшение числа неисправностей по гиперболическому закону в период приработки; второй член C — незначительный объем случайных неисправностей в период нормальной эксплуатации;

третий член описывает закономерности нарастания число отказов, предотказов и отступлений в период ухудшения состояния пути. При этом последний множитель в круглых скобках описывает поведение системы с учетом объемов работ текущего содержания. В зависимости от коэффициента полноты восстановления конструкции после работ η количество неисправностей может как увеличиваться, так и уменьшаться.

Остальные параметры зависимостей вычисляются в ходе аппроксимационных расчетов.

Материалы для анализа

Анализ производился на основании материалов баз данных по состоянию участков пути железных дорог, подразделенных на группы в соответствии с выделенными типовыми условиями эксплуатации, описанными во введении. В качестве участков с продолжительным зимним периодом выбраны районы, на которых период низких температур в соответствии составляет 150 и более суток. Исследовались данные по участкам с уложенными новыми закаленными рельсами типа Р65, железобетонными шпалами на щебеночном балласте. Обследовались участки с наиболее распространенными типами креплений (КБ, ЖБР, АРС). Для сопоставимости данных для анализа были взяты только те километры, на протяжении которых не изменяются ни конструкция пути, ни набор выполненных ранее ремонтов. Все участки прямые, без кривых.

По результатам аппроксимационного анализа построены зависимости изменения основных параметров технического состояния пути. В расчете использованы многие тысячи километров, поэтому на приведенных далее графиках показаны только сглаженные зависимости, полученные в результате аппроксимации.

По результатам анализа была определена стоимость затрат на текущее содержание пути для участков с продолжительным зимним периодом.

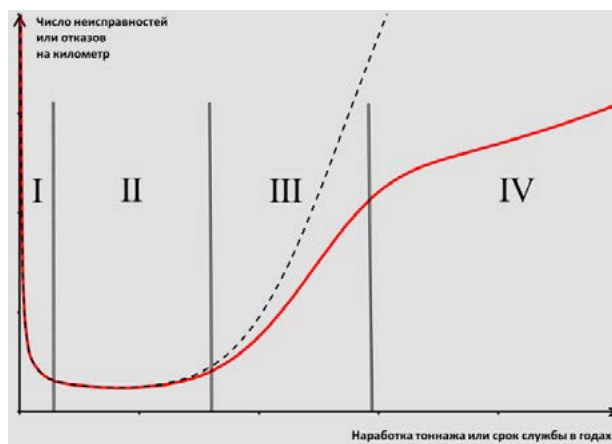


Рис. 2. Модель изменения параметров технического состояния пути в зависимости от наработки тоннажа в млн т брутто или длительности эксплуатации пути после укладки в годах

Результаты анализа

На графиках (рис. 3) показаны зависимости среднего числа отступлений, неисправностей и дефектов элементов верхнего строения пути в зависимости от пропущенного тоннажа на участках в регионах с длительной зимой (winter) в сравнении с обычными условиями эксплуатации (network).

Анализ зависимостей показывает, что количество неисправностей по ширине колеи на участках с длительным зимним периодом почти на всем периоде эксплуатации примерно на 20 % превышает аналогичный показатель для всей сети и на 30 % превышает показатель для участков пассажирского движения. При этом наихудшие показатели показывает крепление АРС.

Количество неисправностей, требующих выправки в профиле, на участках с длительным зимним периодом почти примерно такое же, как по всей сети, но в 1,5–2 раза превышает показатели для участков пассажирского движения. Наихудшие показатели показывает крепление ЖБР.

Количество неисправностей, требующих выправки в плане, на участках с длительным

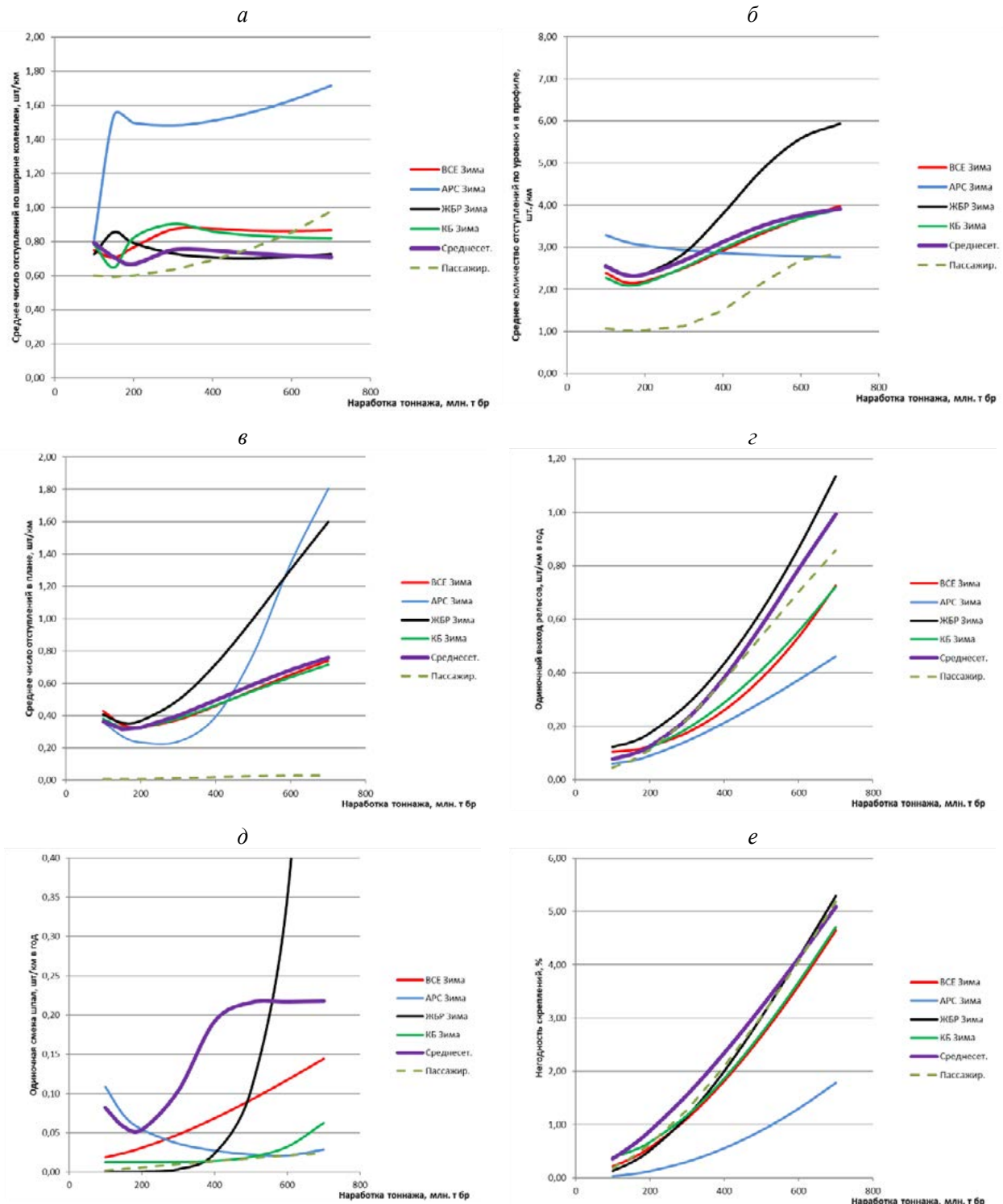


Рис. 3. Зависимость среднего количества отступлений пропущенного тоннажа: *a* — неисправности по ширине колеи; *б* — неисправности, требующие выправки пути в профиле и по уровню; *в* — отступления от положения пути в плане; *г* — объемы одиночного выхода рельсов; *д* — объемы одиночной замены шпал; *е* — доля негодных креплений. Обозначения зависимостей: Среднесет. — среднесетевые зависимости для всего протяжения сети; ВСЕ Зима — для участков с продолжительностью зимы 5 мес. и более, в том числе: АРС Зима — для участков со креплениями АРС; ЖБР Зима — для участков со креплениями ЖБР; КБ Зима — для участков со креплениями КБ; Пассажир. — для участков пассажирского движения

зимним периодом примерно такое же, как по всей сети. При этом объемы работ по рихтовке для скреплений АРС и ЖБР значительно возрастают с ростом пропущенного тоннажа.

Одиночный выход рельсов на участках с длительным зимним периодом примерно такой же, как по всей сети, и даже ниже. Это объясняется тем, что на этих участках преимущественно грузовое движение и наработка тоннажа происходят быстрее.

Рост числа негодных скреплений на участках с длительным зимним периодом примерно такой же, как по всей сети. Исключение составляет путь на скреплениях АРС, на котором выход скреплений в негодные ниже, чем для остальных скреплений.

По результатам анализа были определены суммарные затраты на устранение выявляемых объемов неисправностей (рис. 4).

Анализ показал, что средние затраты на работы текущего содержания в расчете на один миллион тонн немного меньше, чем затраты по сети. Это обусловлено тем, что это участки грузовых перевозок, как правило, с высокой грузонапряженностью, поэтому затраты на один год будут значительно выше.

Заключение

Разработанная модель изменения параметров технического состояния пути в зависимости от наработки тоннажа или количества лет эксплуатации позволяет провести сравнительный анализ изменения состояния пути, объемов работ, затрат на содержание пути для применения их в дальнейшем планировании.

В частности, для участков, находящихся в районах с длительной зимой, по результатам анализа можно сделать выводы о сферах применения различных конструкций пути.

Так, скрепления АРС показывают низкую способность противостоять поперечным переме-

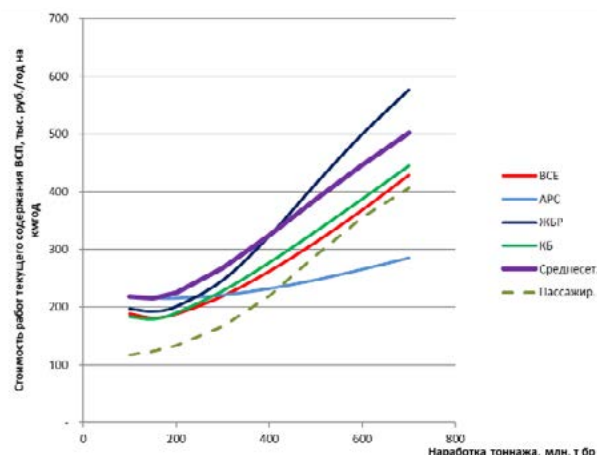


Рис. 4. Зависимость прямых затрат на работы текущего содержания пути от пропущенного тоннажа (обозначения — как на рис. 3)

ниям рельса, особенно в кривых участках пути, нагрузках от грузовых поездов в условиях низких температур. Это вызывает появление неисправностей по ширине колеи и по положению в плане.

Скрепления ЖБР требуют доработки для достижения необходимой жесткости пути для исключения динамических ударов от подвижного состава в период низких температур при замерзшем балласте как в вертикальном, так и в горизонтальном направлении. Новые конструкции скреплений ЖБР (ЖБР-65 ПШМ, ЖБР-65 ПШР) должны решить эту проблему, но для подтверждения их эффективности требуются дополнительные многолетние наблюдения.

Скрепление КБ пригодно для работы в суровых условиях, но при условии невысоких грузонапряженностей и скоростей движения поездов.

Библиографический список

1. Мишин В. В. Вероятностно-статистический анализ перекоса и просядок рельсовой колеи / В. В. Мишин // Вестник ВНИИЖТ. — 2004. — № 4. С. 31–36.
2. Прогнозирование состояния пути. проблемы и решения // Путь и путевое хозяйство. — 2011. — № 7. — С. 2–6.

3. Pevzner V. Improving the Railway Stability in the Joint Zone for Modern Operating Conditions / V. Pevzner, V. Kaplin // *Transportation Research Procedia*, 2 March 2021.
4. Kumar S. A Study of the Rail Degradation Process to Predict Rail Breaks / S. Kumar // *Division of Operation and Maintenance Engineering, Luleå University of Technology*. — 2006. — Pp. 47–59.
5. Zoeteman A., Coenraad E. Evaluating Track Structures: Life Cycle Cost Analysis as a Structured Approach / A. Zoeteman, E. Coenraad. — Delft University of Technology, Delft, 2000.
6. Patra A. RAMS and LCC in Rail Track Maintenance / A. Patra // *Division of Operation and Maintenance Engineering, Luleå University of Technology*, 2007. — Pp. 37–71.
7. Asalkhanova T. Development of Strategies for Analysing the Factors which Influence the Organization of Routine Railway Track Maintenance / T. Asalkhanova, I. Karpov, E. Kolisnichenko // *Transportation Research Procedia*, 3 February 2022. — Vol. 61 (Cover date: 2022). — Pp. 582–587.
8. Smerdov D. Indicators of Reliability of Artificial Structures with Elements Made of Polymer Composite Materials at all Stages of their Life Cycle on the Basis of Risk Assessment / D. Smerdov, A. Klementyev // *Transportation Research Procedia*. — 2017. — Vol. 20. — Pp. 624–629.
9. Beltiukov V. Evaluation of Effectiveness of Separating Layers in Railroad Track Structure Using Life Cycle Cost Analysis / V. Beltiukov, E. Shehtman, O. Malikov // *Procedia Engineering*. — 2017.
10. Beltiukov V. Analysis of Changes of Track Upper Structure Technical Condition and its Operation Costs in Regions with Long Winter Period for Different Types of Rail Fastenings / V. Beltiukov, A. Andreev, A. Sennikova // *Transportation Soil Engineering in Cold Regions (Lecture notes in Civil Engineering)*. — 2020. — Vol. 1. — Pp. 265–274. — DOI 10.1007/978-981-15-0450-1_27, eid: 2-s2.0-85078149994.
- Дата поступления: 21.03.2022
Решение о публикации: 04.05.2022
- Контактная информация:**
БЕЛЬТЮКОВ Владимир Петрович — д-р техн. наук, профессор; bw@peterlink.ru
АНДРЕЕВ Андрей Викторович — ассистент; oddman@bk.ru

Specificities of Work of Railway Permanent Way in Conditions of Continuous Winter Period

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. Specificities of Work of Railway Permanent Way in Conditions of Continuous Winter Period // *Proceedings of Petersburg Transport University*, 2022, vol. 19, iss. 2, pp. 203–209. (In Russian). DOI: 10.20295/1815-588X-2022-2-203-209

Summary

Purpose: To determine legitimacies of changes in technical state of railway permanent way in the areas with harsh climate conditions with the purpose to design track maintenance system in the Arctic conditions. **Methods:** During the study, an analysis of main indicators of permanent way (upper construction) technical condition was carried out such as the way's element defectiveness (rails, fastenings, sleepers, ballast pollution) and faults of geometric parameter norms of rail track (widening and narrowings, alignment by a level, sags, subsidences, position in a plan). Data analysis was carried out in accordance with specially created model of the dependence

of changes in the parameters of permanent way technical condition from a workload tonnage inclusive of annual periods. **Results:** Based on the observations, the change in track maintenance costs for the lines located in continuous winter conditions was determined. These are costs, related to railway track faults and defectiveness of track superstructure (permanent way) elements. **Practical importance:** The results of the study 're intended for the work planning system development on track maintenance and repairs in harsh climate conditions.

Keywords: Arctic zone, permanent way, track maintenance system in a harsh climate, track maintenance costs.

References

1. Mishin V. V. Veroyatnostno-statisticheskiy analiz perekosa i prosadok rel'sovoy kolei [Probabilistic-statistical analysis of skew and subsidence of the rail gauge]. Vestnik VNIIZhT [Vestnik VNIIZhT]. 2004, I. 4, pp. 31-36. (In Russian)
2. Prognozirovaniye sostoyaniya puti. problemy i resheniya [Forecasting the state of the path. problems and solutions]. Put' i putevoe khozyaystvo [Way and track facilities]. 2011, I. 7, pp. 2-6. (In Russian)
3. Pevzner V., Kaplin V. Improving the Railway Stability in the Joint Zone for Modern Operating Conditions. Transportation Research Procedia. March 2, 2021.
4. Kumar S. A Study of the Rail Degradation Process to Predict Rail Breaks, Division of Operation and Maintenance Engineering. Luleå University of Technology. 2006, pp. 47-59.
5. Zoeteman A., Coenraad E. Evaluating Track Structures: Life Cycle Cost Analysis as a Structured Approach. Delft University of Technology, Delft, 2000.
6. Patra A. RAMS and LCC in Rail Track Maintenance. Division of Operation and Maintenance Engineering, Luleå University of Technology. 2007, pp. 37–71.
7. Asalkhanova T., Karpov I., Kolisnichenko E. Development of Strategies for Analysing the Factors which Influence the Organization of Routine Railway Track Maintenance. Transportation Research Procedia. 2022, vol. 61, pp. 582–587.
8. Smerdov D., Klementyev A. Indicators of Reliability of Artificial Structures with Elements Made of Polymer Composite Materials at all Stages of their Life Cycle on the Basis of Risk Assessment. Transportation Research Procedia. 2017, vol. 20, pp. 624–629.
9. Beltiukov V., Shehtman E., Malikov O. Evaluation of Effectiveness of Separating Layers in Railroad Track Structure Using Life Cycle Cost Analysis. Procedia Engineering. 2017
10. Beltiukov V., Andreev A., Sennikova A. Analysis of Changes of Track Upper Structure Technical Condition and its Operation Costs in Regions with Long Winter Period for Different Types of Rail Fastenings. Transportation Soil Engineering in Cold Regions (Lecture notes in Civil Engineering). 2020, vol. 1, pp. 265–274. DOI 10.1007/978-981-15-0450-1_27, eid: 2-s2.0-85078149994.

Received: March 21, 2022

Accepted: May 04, 2022

Author's information:

Vladimir P. BELTIUKOV — D. Sci. in Engineering, Professor; bw@peterlink.ru

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