

А.В. Брусенцев¹

¹ Сибирский государственный университет путей сообщения, г. Новосибирск, Российская Федерация

НАДЕЖНОСТЬ И ХАРАКТЕР ДЕФЕКТНОСТИ СТРЕЛОЧНЫХ ПЕРЕВОДОВ, ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ НА ГЛАВНЫХ ПУТЯХ АЛТАЙСКОГО РЕГИОНА ИНФРАСТРУКТУРЫ

Аннотация. Статья посвящена вопросам надежности и дефектности современных стрелочных переводов, эксплуатируемых на главных магистральных путях. Существующие условия свидетельствуют о необходимости управления техническим состоянием эксплуатируемого стрелочного хозяйства. Целью работы является анализ надежности стрелочного хозяйства, эксплуатируемого в условиях А дистанции пути. Анализ надежности стрелочного хозяйства проводился по работоспособности технических средств стрелочного хозяйства. Для исследования применялись методы статистического анализа данных об отказах элементов стрелочных переводов за период с 2020 по 2020 гг. На крестовинные части стрелочных переводов приходится 67 % всех отказов, на стрелочные части соответственно 33 %. Средняя наработка до отказа крестовинной части составила 178,7 млн т брутто, стрелочной – 266,3 млн т брутто. Наибольшее число отказов в крестовинной части происходит в сердечнике и усовиках, коды дефектов ДС 14.2 и ДУ 14.2. Отказы в стрелочной части происходят в следствии развития дефекта кода ДР 11.2 и дефекта кода ДО 20.2. Полученные данные свидетельствуют о необходимости повышения надежности и увеличения ресурса элементов стрелочных переводов.

Ключевые слова: стрелочный перевод, стрелка, крестовина, отказы, надежность.

A.V. Brusentcev¹

¹ Siberian Transport University, Novosibirsk, Russian Federation

RELIABILITY AND DEFECTIVENESS OF SWITCHES OPERATING ON THE MAIN ROUTES OF THE ALTAI REGION OF INFRASTRUCTURE

Abstract. The article is devoted to the issues of reliability and defectiveness of modern turnouts operated on the main trunk lines. The existing conditions indicate the need to manage the technical condition of the operated switch facility. The aim of the work is to analyze the reliability of the switch facilities, operated under conditions A of the distance of the track. The analysis of the reliability of the switch facility was carried out according to the performance of the technical means of the switch facility. For the study, methods of statistical analysis of data on failures of turnout elements for the period from 2020 to 2020 were used. The cross parts of turnouts account for 67% of all failures, and the turnouts account for 33%, respectively. The average time to failure of the cross section was 178.7 million gross tons, and that of the switch section was 266.3 million gross tons. The greatest number of failures in the cross part occurs in the core and guardrails, defect codes DS 14.2 and DU 14.2. Failures in the turnout occur as a result of the development of a defect in the code DR 11.2 and a defect in the code DO 20.2. The data obtained indicate the need to improve the reliability and increase the resource of turnout elements.

Keywords: turnout switch, switch, toe, reliability.

Введение

Современные условия работы железнодорожного транспорта, тенденции увеличения осевых и погонных нагрузок и скоростей движения требуют обеспечения безопасного и бесперебойного перевозочного процесса при минимизации затрат на приобретение и эксплуатацию технических средств [1–3]. Данный баланс компанией ОАО «РЖД» достигается путем проведения политики, направленной на проведение научных и конструкторских работ, обеспечивающих создание новых и более надежных технических средств и путевой техники [4], совершенствования технологий ремонта и текущего содержания инфраструктуры железнодорожного транспорта [5,6], усиления [7–9] и развития инфраструктуры путей сообщения [10,11].

Значительную часть в инфраструктуре железнодорожного транспорта, приобретения,

рационального использования и технического обслуживания занимает железнодорожный путь, в частности стрелочное хозяйство [12]. Это подтверждается тем, что на сети железных дорог эксплуатируется более 166 тысяч стрелочных переводов, на каждый километр развернутой длины путей магистральных железных дорог России приходится в среднем 1,3 стрелочных перевода, используется несколько десятков видов стрелочной продукции. Ежегодно производится замена порядка 5,5-8,5 тысяч стрелочных переводов, выработавших свой ресурс, 6-7 тысяч ремкомплектов и 5-6 тысяч крестовин. К тому же, обстоятельства осложняются недостаточным ресурсом основных стрелочных переводов, который составляет 280–350 млн. т брутто [13].

Методы и материалы

Данные условия свидетельствуют о необходимости управления техническим состоянием эксплуатируемого стрелочного хозяйства. Базой для продления их срока службы имеет место быть анализ их эксплуатационной надежности (отказов) [14]. В связи с этим, целью данной работы является анализ надежности стрелочного хозяйства, эксплуатируемого в условиях А дистанции пути. Анализ надежности стрелочного хозяйства проводился по работоспособности технических средств стрелочного хозяйства, которая в свою очередь определялась его состоянием. Возможные состояния технических средств стрелочного хозяйства показаны на рисунке 1.1.

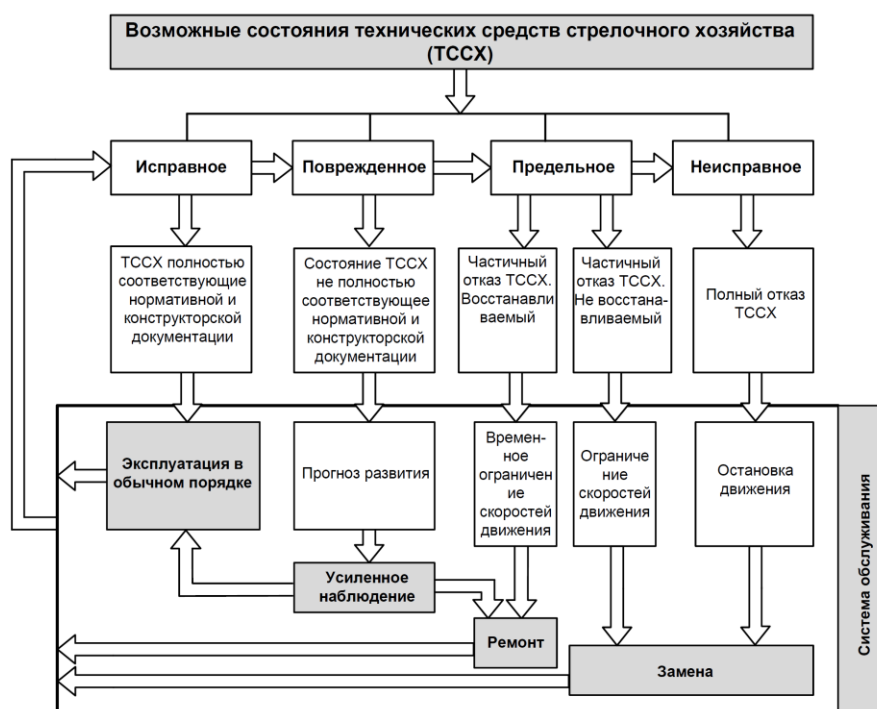


Рис. 1.1. Состояния технических средств стрелочного хозяйства

Поврежденное, предельное и неисправное состояния вызываются возникающими в процессе эксплуатации повреждениями и отказами, которые могут классифицироваться как отказы по износу, по дефектам, по причине расстройств геометрии рельсовой колеи, по состоянию систем обеспечения работы технического средства (например, невозможность перевода остряка из-за снега, напессовавшегося между остряком и рамным рельсом).

Важным показателем надежности, с помощью которого оценивается безотказность частей стрелочных переводов, является средняя наработка до первого отказа (математическое ожидание наработки до первого отказа), определяемая по формуле (1):

$$\bar{T}_{\text{cp}} = \sum_{i=1}^k \frac{t_i n_i}{N_0}, \quad (1)$$

где k – число интервалов;

t_i - значение середины интервала, млн т брутто;

n_i - число отказов в интервале, шт.;

N_0 – сумма рассматриваемых объектов, шт.

По мере увеличения наработки возрастает число отказавших элементов стрелочных переводов и убывает соответственно число работоспособных. Накопленное число отказов $r(t_i)$ и соответственно число оставшихся работоспособными стрелочных переводов $N(t_i)$ определяются по следующим формулам:

$$r(t_i) = \sum_{i=1}^k n_i; \quad (2)$$

$$N(t_i) = N_0 - r(t_i). \quad (3)$$

Обобщенное представление о надежности дают не абсолютные, а относительные (удельные) значения полученных данных. Вместо выражения в абсолютных единицах накопленного числа работоспособных к данному моменту наработки t_i изделий $N(t_i)$ целесообразно использовать отношение (4)

$$\bar{P}(t_i) = \frac{N(t_i)}{N_0}. \quad (4)$$

Это выражение характеризует на момент t_i наработки долю работоспособных изделий по отношению к находящимся под наблюдением (накопленная частота безотказной работы).

Аналогично соответствующая доля отказавших изделий (накопленная частота отказов) определится из отношения (5)

$$\bar{F}(t_i) = \frac{r(t_i)}{N_0}. \quad (5)$$

Для исследования применялись методы статистического анализа данных об отказах элементов стрелочных переводов за период с 2020 по 2020 гг., выявленных при осмотрах и диагностике. К учету принимались отказы по износу и дефектам металлических частей стрелочных переводов проектов 2750, 2769 и 2768, эксплуатируемые на главных путях.

Результаты

За рассматриваемый период было выявлено 178 отказов элементов стрелочных переводов. Динамика количества отказов по годам приведена на рисунке 1.1.

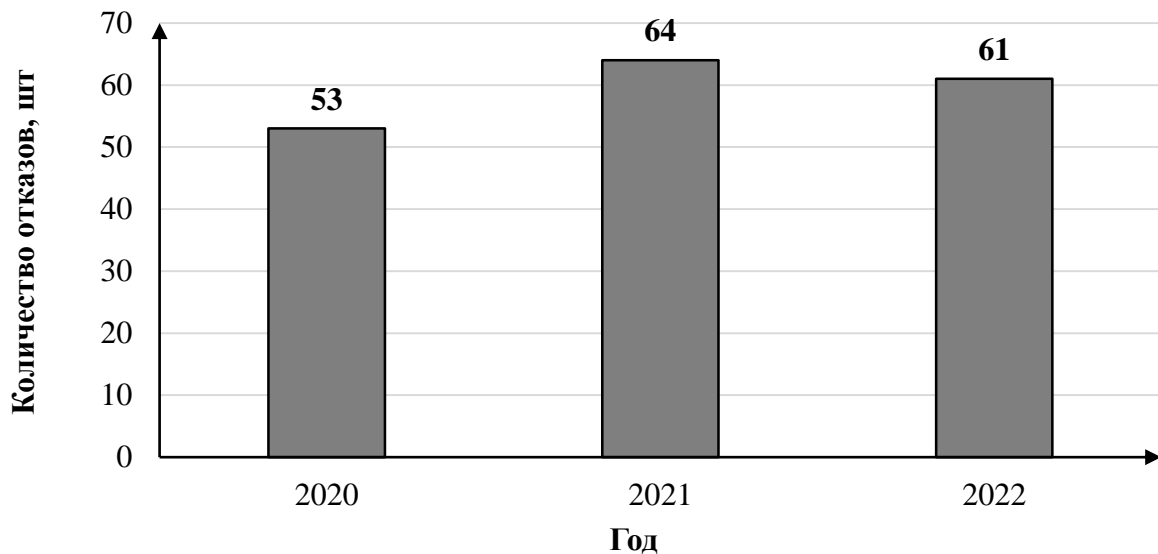


Рис. 1.2. Количество отказов металлических частей стрелочных переводов по годам

На рисунке 1.3 приведена гистограмма количества отказов металлических частей по проектам стрелочных переводов за 2020-2022 гг.

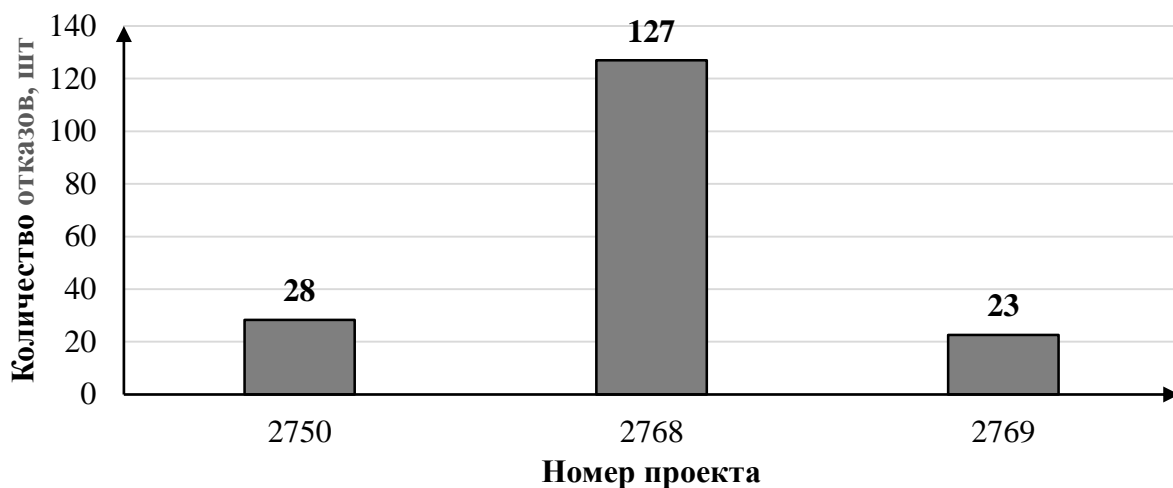


Рис. 1.3. Количество отказов металлических частей стрелочных переводов за 2020-2022 гг. по проектам

На рисунках 1.4 и 1.5 приведены гистограммы наработки до отказа крестовинной и стрелочной частей стрелочных переводов за 2020-2022 гг. при соответствующих диапазонах пропущенного тоннажа.



Рис. 1.4. Распределение наработки до отказа крестовинной части стрелочных переводов за период с 2020 по 2022 гг.

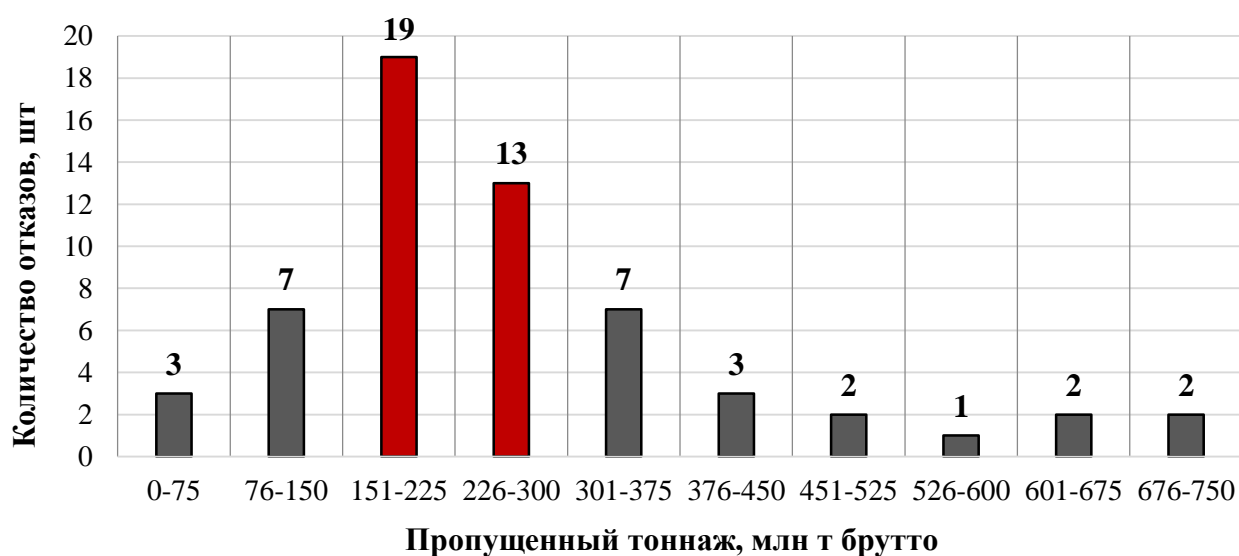


Рис. 1.5. Распределение наработка до отказа стрелочной части стрелочных переводов за период с 2020 по 2022 гг.

Для выявления наиболее слабых элементов стрелочных переводов был выполнен анализ отказов по дефектам. Результаты анализа приведены в таблице 1.1.

Табл. 1.1. Количество отказов по стрелочным элементам и коду дефекта

Дефектный элемент	Код дефекта	Количество отказов
Сердечник	ДС 14.2	52
	ДС 30Г.2	4
	ДС 42.2	3
	ДС 60.2	1
Усовики	ДУ 12.2	1
	ДУ 14.2	47
	ДУ 20.2	1
Остряки	ДО 20.2	24
Рамные рельсы	ДР 11.2	30

На рисунке 1.6 изображен график вероятности отказов и вероятности безотказной работы крестовинной и стрелочной частей.

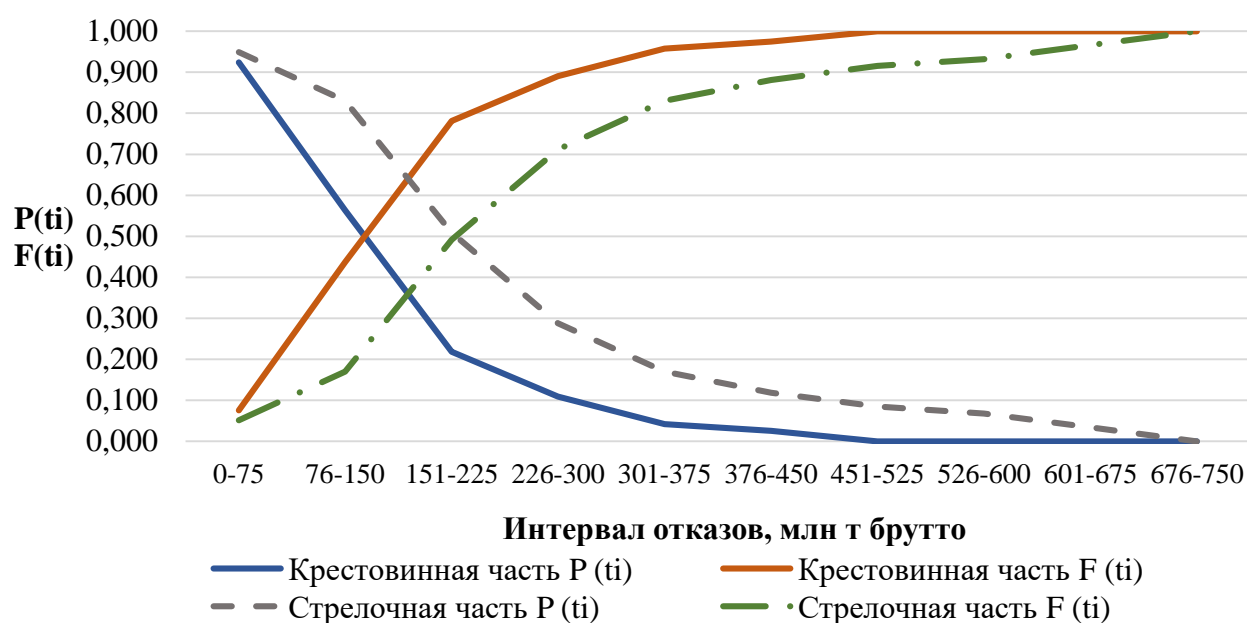


Рис. 1.6. Вероятность отказов $F(t)$ и вероятность безотказной работы $P(t)$ стрелочных переводов

Обсуждение

За рассматриваемый период было выявлено 178 отказов элементов стрелочных переводов. В 2020 году количество отказов металлических частей стрелочных переводов составило 53 шт., в 2021 году – 64 шт., в 2022 году – 61 шт. Наибольшее количество отказов выявлено в стрелочных проектах проекта 2768. Это объясняется значительным превышением количества стрелочных проектов проекта 2768, находящихся в выборке, по отношению к другим стрелочным переводам.

На основании построенных графиков распределения наработки до отказа крестовинной и стрелочной частей стрелочных переводов (рисунок 1.4 и 1.5) получены значения средней наработки до первого отказа. Средняя наработка до отказа крестовинной части составила 178,7 млн т брутто, стрелочной – 266,3 млн т брутто. Из полученных значений видно, что наибольшая наработка до первого отказа наблюдается у стрелочной части, соответственно наименьшая наработка и надежность – у крестовинной части. Так в крестовинных частях стрелочных переводов зафиксировано 119 случаев отказов (67 %), а в стрелочных – 59

случаев, что составляет соответственно 33 %.

Из данных приведенных в таблице 1.1 видно, что наибольшее число отказов в крестовинной части происходит в сердечнике и усовиках, коды дефектов ДС 14.2 и ДУ 14.2 [15] (отслоение и выкрашивание на поверхности катания литой части усовика и сердечника в зоне перекатывания из-за повышенного динамического воздействия колес). Отказы в стрелочной части происходят в следствии развития дефекта кода ДР 11.2 (выкрашивание металла рамного рельса и остряка по боковой выкружке в зоне прилегания остряков из-за недостаточной контактно-усталостной прочности металла) и дефекта кода ДО 20.2 (трещины в головке остряка и изломы из-за них в зоне выпрессовки корня).

Заключение

Полученные данные свидетельствуют о необходимости повышения надежности и увеличения ресурса [10] элементов стрелочных переводов. В настоящее время ресурс основных стрелочных переводов, используемых на железных дорогах недостаточен и составляет 280–350 млн. т брутто. Для создания стрелочных переводов с повышенным ресурсом и улучшенными эксплуатационными показателями потребуется разработка и постановка на производство новых усиленных конструкций крестовин с приварными рельсовыми окончаниями, освоение в массовом производстве технологии изготовления остряков и рамных рельсов из высокопрочных материалов, внедрение усовершенствованных технологий упрочнения, продления сроков службы, ремонтов и повторного использования узлов стрелочных переводов и стрелочных электроприводов.

Результаты могут быть использованы работниками путевого комплекса, в т.ч. дистанций пути для управления техническим состоянием стрелочного хозяйства и разработки мероприятий для увеличения срока службы элементов стрелочных переводов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Косеко С.А. Акимов С.С. Богданович С.В. Соколовский И.К. Оценка стоимости жизненного цикла верхнего строения пути при продлении межремонтного периода // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. 2021. № 1 (56). С. 71–78.
2. Стратегия развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации до 2030 года [Электронный ресурс]: Распоряжение Правительства РФ от 17.06.2008 № 877-р. Доступ из СПС «КонсультантПлюс».
3. Стратегия развития холдинга «РЖД» на период до 2030 года [Электронный ресурс]: утв. советом директоров ОАО «РЖД» 23.12.2013 № 19. Режим доступа: http://doc.rzd.ru/doc/public/ru?STRUCTURE_ID=704&layer_id=5104&id=6396
4. Противодеформационное укрепление основной площадки железнодорожного земляного полотна методом холодной регенерации (ресайклинг) на участках обращения тяжеловесных поездов: отчет / С.С. Акимов [и др.]. Новосибирск. 2020. 289 с.
5. Совершенствование технологического обслуживания бесстыкового пути / С. А. Косенко [и др.] // Транспорт Урала. 2016. № 2(49). С. 44–47.
6. Метод смены температурно зажатых уравнильных рельсов бесстыкового пути / С.А. Косенко [и др.] // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2015. № 3(47). С. 187–190.
7. Akimov S., Kosenko S.: Stress state of roadbed reinforced with soil-concrete layer under the impact of heavy-tonnage trains // Transportation Research Procedia. 2021. 54. pp. 495–502, doi: 10.1016/j.trpro.2021.02.100.
8. Акимов С.С. Котова И.А. Косенко С.А. Целесообразность устройства подбалластных защитных слоев из грунтобетона при капитальном ремонте железнодорожного пути // Фундаментальные и прикладные вопросы транспорта. 2020. № 1 (1). С. 54–61.
9. Акимов С.С., Косенко С.А. Ресайклинг как альтернативный способ повышения прочности подбалластного основания железнодорожного пути // Наука, образование, кадры.

Материалы нац. конф. в рамках IX Междунар. Сиб. трансп. форума (Новосибирск, 22–25 мая 2019 г.). Новосибирск: Изд-во СГУПС, 2019. С. 204–212.

10. Kosenko S., Akimov S. Design of track structure for corridors of heavy-train traffic. MATEC Web of Conferences. 2018. No 239. 05005. doi:10.1051/mateconf/201823905005.

11. Косенко С.А., Богданович С.В., Акимов С.С. Проектирование путевого развития станций и выбор конструкций верхнего строения пути для тяжеловесного движения поездов // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. 2018. № 4 (47). С. 21–29.

12. Базанов А.С., Акимов С.С. Оценка надежности стрелочного хозяйства дистанции пути Алтайского региона инфраструктуры // Молодая наука Сибири. 2021. № 2 (12). С. 37–43.

13. Стратегия научно-технологического развития холдинга «РЖД» на период до 2025 года и на перспективу до 2030 года (Белая книга) [Электронный ресурс]: Распоряжение ОАО «РЖД» от 17.04.2018 № 769/р. Режим доступа: <https://www.irgups.ru>.

14. Косенко С.А., Акимов С.С. Причины отказов элементов железнодорожного пути на полигоне Западно-Сибирской железной дороги // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. 2017. № 3 (42). С. 26–34.

15. Классификатор дефектов и повреждений элементов стрелочных переводов: утв. распоряжением ОАО «РЖД» № 1653р от 16.08.2012. – Москва, 2012. 92 с.

REFERENCES

1. Koseko S.A. Akimov S.S. Bogdanovich S.V. Sokolovskiy I.K. Otsenka stoimosti zhiznennogo tsikla verkhnego stroyeniya puti pri prodlenii mezhremontnogo perioda [Life cycle estimation of the permanent way when extending the overhaul period] // *Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo universiteta putey soobshcheniya* [The Siberian Transport University Bulletin]. 2021. No 1 (56). pp. 71–78.

2. Strategiya razvitiya zheleznodorozhnogo transporta v Rossiyskoy Federatsii do 2030 goda [Strategy for the development of railway transport in the Russian Federation until 2030]: Rasporyazheniye Pravitel'sva RF ot 17.06.2008 No 877-r. Dostup iz SPS «Konsul'tantPlyus».

3. Strategiya razvitiya kholdinga «RZHD» na period do 2030 goda [The development strategy of the Russian Railways holding for the period up to 2030]: utv. sovetom direktorov ОАО «RZHD» 23.12.2013 No 19. Rezhim dostupa: http://doc.rzd.ru/doc/public/ru?STRUCTURE_ID=704&layer_id=5104&id=6396.

4. Protivodeformatsionnoye ukrepleniye osnovnoy ploshchadki zheleznodorozhnogo zemlyanogo polotna metodom kholodnoy regeneratsii (resaykling) na uchastkakh obrashcheniya tyazhelovesnykh poyezdov [Anti-deformation strengthening of the main platform of the railway subgrade by the method of cold regeneration (recycling) in the areas of circulation of heavy trains]: otchet / S.S. Akimov [i dr.]. Novosibirsk. 2020. 289 p.

5. Sovershenstvovaniye tekhnologicheskogo obsluzhivaniya besstykovogo puti [Improvement of the process maintenance of continuous welded rails] / S. A. Kosenko [i dr.] // *Transport Urala* [Transport of the Urals]. 2016. No 2(49). pp. 44–47.

6. Metod smeny temperaturno zazhatykh uravnitel'nykh rel'sov besstykovogo puti [Method of changing the temperature clamped equalizing on continuous welded rail] / S.A. Kosenko [i dr.] // *Sovremennyye tekhnologii. Sistemnyy analiz. Modelirovaniye* [Modern Technologies. System Analysis. Modeling]. 2015. No 3(47). pp. 187–190.

7. Akimov S., Kosenko S.: Stress state of roadbed reinforced with soil-concrete layer under the impact of heavy-tonnage trains // *Transportation Research Procedia*. 2021. No 54. pp. 495–502, doi: 10.1016/j.trpro.2021.02.100.

8. Akimov S.S. Kotova I.A. Kosenko S.A. Tselesoobraznost' ustroystva podballastnykh zashchitnykh slojev iz gruntobetona pri kapital'nom remonte zheleznodorozhnogo puti [Expediency of the subballast protective layers formation from soil-concrete during railway track overhaul] //

Fundamental'nyye i prikladnyye voprosy transporta [Fundamental and Applied Transport Issues]. 2020. No 1 (1). pp. 54–61.

9. Akimov S.S., Kosenko S.A. Resaykling kak al'ternativnyy sposob povysheniya prochnosti podballastnogo osnovaniya zheleznodorozhnogo puti [Recycling as an alternative method of increasing the strength ballast foundation of the railway track] // *Nauka, obrazovaniye, kadry [Science, education, personnel]*. Novosibirsk: Izd-vo SGUPSa, 2019. pp. 204–212.

10. Kosenko S., Akimov S. Design of track structure for corridors of heavy-train traffic. MATEC Web of Conferences. No 239. 2018. p. 05005, doi:10.1051/matecconf/201823905005.

11. Kosenko S.A., Bogdanovich S.V., Akimov S.S. Proyektirovaniye putevogo razvitiya stantsiy i vybor konstruksiy verkhnego stroyeniya puti dlya tyazhelovesnogo dvizheniya poyezdov [Designing gridiron stations for heavy railway traffic organization] // *Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo univesriteta putey soobshcheniya [The Siberian Transport University Bulletin]*. 2018. No 4 (47). pp. 21-29.

12. Bazanov A.S., Akimov S.S. Otsenka nadezhnosti strelochnogo khozyaystva distantsii puti Altayskogo regiona infrastruktury [The switch equipment reliability assessment of the permanent way division of the Altay region infrastructure] // *Molodaya nauka Sibiri [Young Science of Siberia]*. 2021. № 2 (12). pp. 37–43.

13. Strategiya nauchno-tekhnologicheskogo razvitiya kholdinga «RZHD» na period do 2025 goda i na perspektivu do 2030 goda (Belaya kniga) [The strategy of scientific and technological development of the Russian Railways holding for the period up to 2025 and for the future up to 2030 (White Book)]: Rasporyazheniye OAO «RZHD» ot 17.04.2018 No 769/r. Rezhim dostupa: <https://www.irgups.ru>.

14. Kosenko S.A., Akimov S.S. Prichiny otkazov elementov zheleznodorozhnogo puti na poligone Zapadno-Sibirskoy zheleznoy dorogi [Failure causes of railway track elements at the West-Siberian railway polygon] // *Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo universiteta putey soobshcheniya [The Siberian Transport University Bulletin]*. 2017. No 3 (42). pp. 26–34.

15. Klassifikator defektov i povrezhdeniy elementov strelochnykh perevodov [Classifier of defects and damages of elements of turnouts]: utv. rasporyazheniyem OAO «RZHD» No 1653r ot 16.08.2012. – Moskva, 2012. 92 p.

Информация об авторах

Брусенцев Алексей Владимирович – студент факультета «Строительство железных дорог», Сибирский государственный университет путей сообщения, г. Новосибирск, e-mail: leshabrusentcev.ya.ru@yandex.ru

Information about the authors

Brusentsev Aleksey Vladimirovich – student of the faculty of Railway Construction, Siberian State Transport University, Novosibirsk, e-mail: leshabrusentcev.ya.ru@yandex.ru