

УДК 625.04

В.О. Анциферова, Э.Е. Зеленский

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

АНАЛИЗ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ ДЛЯ СИСТЕМЫ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ ПУТИ

Аннотация. В данной статье анализируются показатели надежности для системы железнодорожной пути. Приведено понятие железнодорожного пути и задачи текущего содержания. Далее рассматриваются проблемы пути, возникающие из-за некачественных деталей элементов верхнего строения. После чего производится оценка их надежности, в ходе которой были представлены различные схемы соединения элементов. Кроме этого рассмотрены дефекты, которые могут возникать по истечению некоторого времени эксплуатации и пропуска тоннажа на текущем участке. Решается задача повышения эффективности и стабильности верхнего строения. Рассматривается надежность отдельных элементов железнодорожной пути, которая показывает динамику работы системы в целом. А также, визуальна отобразена надежность отдельных элементов ВСП и системы железнодорожной пути. После этого, производится анализ графиков “надежность элементов ВСП” и “надежность системы железнодорожной путь”. На первом графике видно, что самым безотказным элементом ВСП являются шпалы. По второму графику делается вывод, что надежность данного конкретного участка не обеспечивается при заданном пропущенном тоннаже. Таким образом, результаты анализа позволили выявить самый надежный элемент как отдельно работающего, так и действующего в системе. Посредством анализа были предложены мероприятия по улучшению их прочности, такие как: увеличение надежности элементов с помощью материала высокой прочности; своевременное выявление отказов и их незамедлительное устранение.

Ключевые слова: железнодорожной путь, надежность, расчет, соединение, рельсы, скрепления, шпалы, система, отказ, верхнее строение пути, путь.

V.O. Antsiferova, E.E. Zelenskiy

Irkutsk State Transport University, Irkutsk, Russian Federation

ANALYSIS OF RELIABILITY INDICATORS FOR THE RAILWAY TRACK SYSTEM

Annotation. This article analyzes the reliability indicators for the railway track system. The concept of a railway track and the tasks of the current content are given. Next, the problems of the path that arise due to the low reliability of the VSP and low-quality parts are considered. After that, a reliability assessment is carried out, during which various schemes for connecting elements were presented. In addition, defects that may occur after some time of operation and tonnage skipping on the current section of the track are considered. The problem of increasing the efficiency and stability of the upper structure of the path is solved. The reliability of individual elements of the railway track is considered, which shows the dynamics of the system as a whole. And also, the reliability of individual elements of the VSP and the railway track system is visually displayed. As a result, the graphs “reliability of VSP elements” and “reliability of the railway track system” are analyzed. The first graph shows that the sleepers are the most reliable element of the VSP. According to the second schedule, it is concluded that the reliability of the track is not provided for a given missed tonnage. Thus, the results of the analysis made it possible to identify the most reliable element both working separately and operating in the system. Through the analysis, measures were proposed to improve their strength, such as: reducing the number of elements of the upper structure of the track; increasing the reliability of elements using high-strength material; timely detection of failures and their immediate elimination.

Keywords: railway track, reliability, calculation, connection, rails, fasteners, sleepers, system, failure, the upper structure of the path, the path.

Введение

Железнодорожной путь (далее – путь) – это подсистема инфраструктуры железнодорожного транспорта, включающая в себя верхнее строение (рельсы, стрелочные переводы, подрельсовое основание со скреплениями и балластная призма), земляное полотно, водоотводные, противодеформационные, защитные и укрепительные сооружения земляного полотна, расположенные в полосе отвода, а также искусственные сооружения [1].

Железнодорожный путь постоянно находится под воздействием проходящих по нему поездов. Поэтому должен быть постоянно в исправном состоянии, чтобы поезда могли вполне безопасно и плавно двигаться по нему с установленными для данного участка скоростями, а на станционных путях могла бесперебойно выполняться работа по приему, отправлению, формированию и расформированию поездов. Для поддержания пути в постоянной исправности осуществляется его техническое обслуживание. Текущее содержание заключается, во-первых, в систематических и тщательных осмотрах и проверках пути. Такие осмотры и проверки позволяют своевременно обнаружить неисправности, их причины и принять необходимые меры к устранению неисправностей. Если не принять своевременных мер, то даже незначительные неисправности могут вызвать расстройства пути и создать угрозу безопасности движения. Особое внимание уделяют при этом состоянию рельсов, стыков, шпал, стрелочных переводов, кривых участков, рельсовых цепей, плавности бесстыкового пути [2].

Проблемы при обслуживании железнодорожного пути

Основной задачей текущего содержания железнодорожного пути является выполнение необходимых мер и комплекса работ для своевременного устранения возникновения деформации и отказов [3-4]. Содержание пути должно осуществляться на таком уровне, при котором не будет снижена скорость движения поездов. Однако, при выполнении данных задач на железнодорожном пути, возникают следующие проблемы:

- низкая надежность верхнего строения пути;
- некачественные детали.

Вследствие чего возникают такие дефекты как: разрушение структуры железобетонных шпал; излом клеммы; выкрашивание металла на поверхности катания (Рис.1-3).



Рис.1 Разрушение структуры ж/б шпалы



Рис.2 Излом клеммы



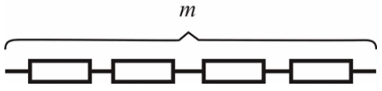
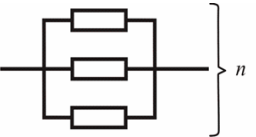
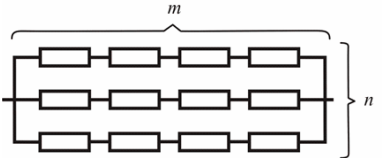
Рис.3 Выкрашивание металла на поверхности катания

Оценка показателей надежности

Для оценки показателей надежности железнодорожного пути был проведён анализ, основанный на теории надежности [5]. Анализ был проведён в зависимости от пропущенного тоннажа, который был взят 1400 млн. т. брутто. Теория надёжности (также иногда называется теорией отказов) – научное направление, которое занимается изучением принципов, закономерностей и составлением статистических моделей отказов технических устройств. В теории надежности используется три схемы соединения, представленные в Таблице 1.

Таблица 1

Схемы соединения элементов

Соединение	Схема	Формула	Описание
Последовательное		$P = \prod_{i=1}^m P_i$	Отказ любого элемента приводит к отказу всей системы.
Параллельное		$P = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - P_i)$	Система сохраняет свою работоспособность, пока работоспособен хотя бы один из элементов.
Последовательно-параллельное		$P = 1 - \left[1 - \prod_{i=1}^m P_i \right]^n$	Сочетает особенности последовательного и параллельного соединения.

В частности, на железной дороге работает последовательно-параллельное соединение. Иначе говоря, при отказе хотя бы одного рельса система перестает полностью функционировать, а при отказе шпал и креплений система способна выполнять свои функции, но с некоторыми ограничениями.

На основе вышесказанного была проведена оценка надежности трёх элементов пути: рельсов, шпал и креплений, а также системы в целом (Рис. 4).

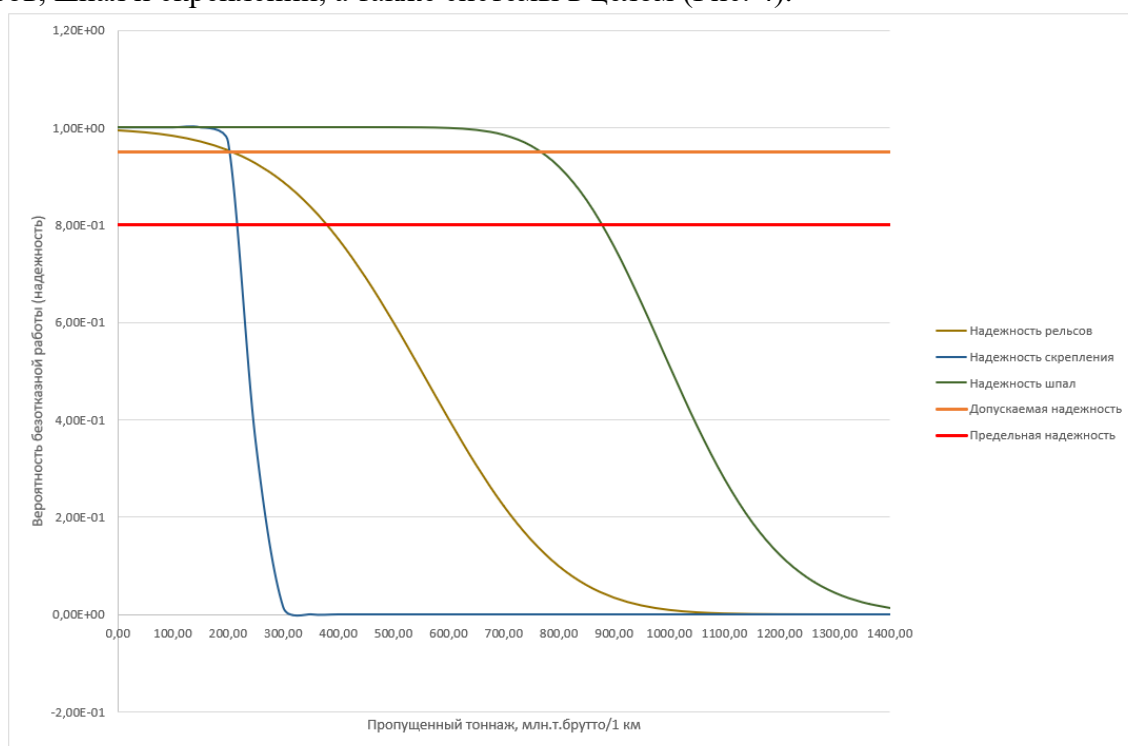


Рис.4 Надежность работы элементов верхнего строения пути

Из рисунка 4 видим, что самыми ненадежными элементами являются скрепления и рельсы. При допустимой надежности системы, равной 95%, они начинают снижать свою надежность на интервале от 190 до 200 млн. т. брутто, тем самым приходится ограничивать скорость подвижного состава. Следовательно, увеличивается время на простой поездов и возрастают затраты, связанные с задержками поездов. При предельной надежности - 80% [3], рассматриваемые элементы начинают утрачивать надежность, т.е. в промежутке от 215 до 220 млн. т. брутто скрепления чаще выходят из строя, а отказ рельсов начнёт происходить в период от 365 до 375 млн. т. брутто. В свою очередь, надежность шпал снижается до предельно допустимого значения в пределах от 860 до 875 млн. т. брутто.

Таким образом, более надежным элементом верхнего строения пути являются шпалы. Далее проведена оценка надежности работы 1 звена и 1 км системы железнодорожный путь в целом (Рис. 5).

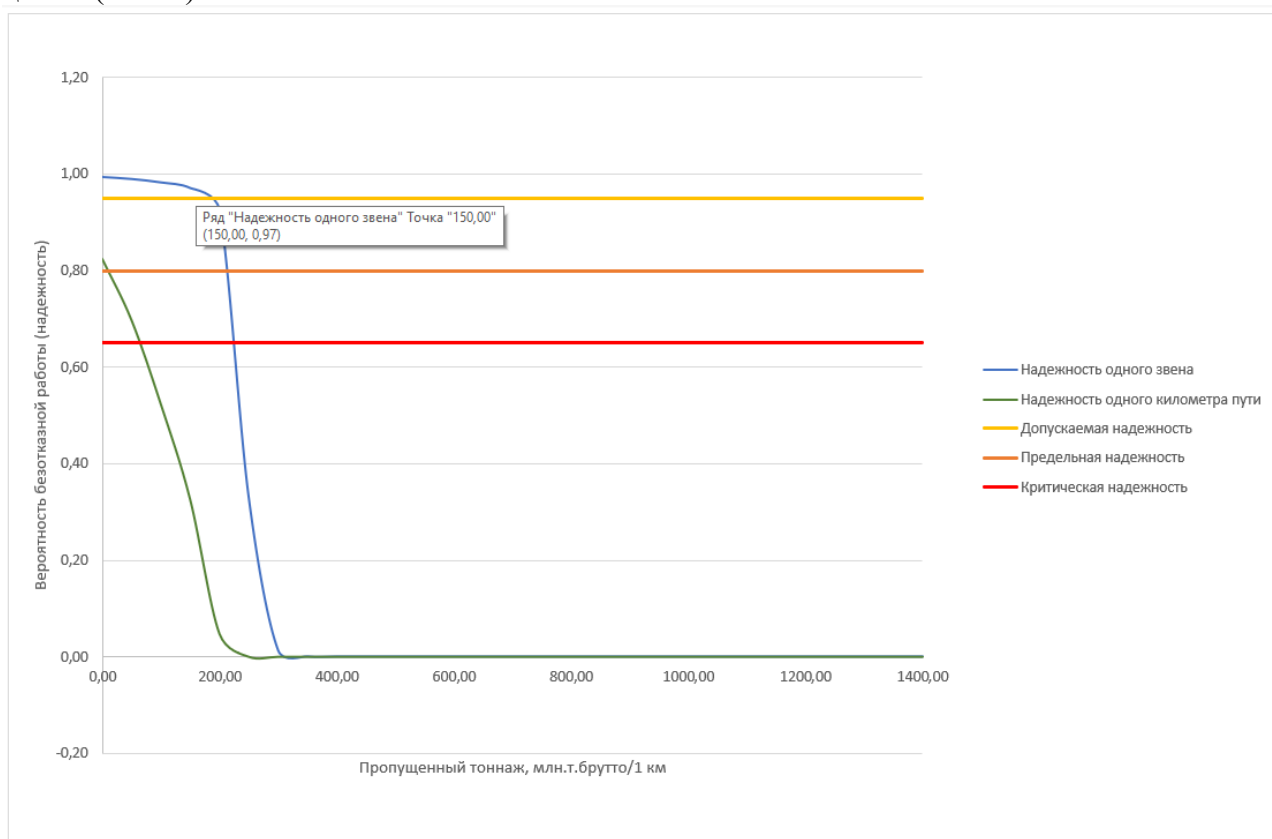


Рис.5 Надежность работы системы железнодорожный путь

Из данного рисунка видно, что безотказность одного звена длится от 0 до 195 млн. т. брутто, а безотказность одного километра пути не достигает допустимой надежности при данных условиях эксплуатации. В связи с этим для предотвращения снижения надежности пути в целом до предельной величины в 80%, и предупреждения появления отказов элементов верхнего строения пути, следует предусмотреть работы по своевременному диагностированию системы железнодорожный путь. Для данной системы диагностические операции следует назначать при пропущенном тоннаже в 10 млн. т. брутто. Кроме того, необходимо уже в это время провести работы текущего характера. Иначе, при достижении критической надежности в 65% в системе железнодорожный путь, произойдет полный ее отказ. Это приведёт к уменьшению скорости до 25 км/ч, а в кривых $R < 650$ м к уменьшению скорости до 15 км/ч, или же к закрытию участка пути для движения поездов.

Заключение

В ходе анализа железнодорожного пути выявили, что это сложная система, состоящая из взаимосвязанных элементов, которые имеют различную прочность. Исходя из теории надежности каждый элемент требует пристального внимания. На основании проведённого

исследования можно сделать вывод, что оценка надёжности системы железнодорожный путь помогает своевременно назначать диагностические операции, а также предупреждать выход элементов верхнего строения пути в опасное состояние. При постоянно увеличивающейся пропускной способности на железной дороге предлагаем рассмотреть работы по оптимизации элементов ВСП следующими способами:

- увеличить их надёжность за счет более высокой прочности;
- своевременно выявлять отказы и незамедлительно их устранять.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Карпов И.Г. Технология, механизация и автоматизация работ по техническому обслуживанию железнодорожного пути [Текст] / И.Г. Карпов, С.Ю. Лагерева // Иркутск: ИрГУПС, 2020, 109 с.

2. Ермаков В.М. Особенности конструкции, условий ее работы, укладки и содержания [Электронный ресурс] / В.М. Ермаков. // Москва: Науч. журнал «Путь и путевое хозяйство» 2004. № 12. 12-16 с. - Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=37028787> свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус.

3. Инструкция по текущему содержанию железнодорожного пути, утвержденная распоряжением ОАО "РЖД" № 2288р [Текст] // Москва: от 14.11.2016. 256 с.

4. Ковенькин Д.А. Этапы жизненного цикла верхнего строения железнодорожного пути [Текст] / Д.А. Ковенькин, В.А. Подвербный // Проектирование развития региональной сети железных дорог. 2015. № 3. 151–156 с.

5. Саркисяна. С.А. Теория прогнозирования и принятия решений [Электронный ресурс] / С.А. Саркисяна // Санкт-Петербург: Высш.шк., 1977. 352 с. - Режим доступа: <https://nashol.me/20190813112395/teoriya-prognozirovaniya-i-prinyatiya-reshenii-sarkisyana-s-a-1977.html> свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус.

REFERENCES

1. Karpov I.G. Technology, mechanization and automation of railway maintenance works [Text] / I.G. Karpov, S.Yu. Lagereva. // Irkutsk: IrGUPS, 2020, 109 p.

2. Ermakov V.M. Features of the design, its working conditions, installation and maintenance [Electronic resource] / V.M. Ermakov // Moscow: Scientific journal "Path and travel management" 2004. No. 12. 12-16 p. - Access mode: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=37028787> free. – Blank from the screen. – Yaz. rus.

3. Instructions on the current maintenance of the railway track, approved by the Order of JSC "Russian Railways" No. 2288r [Text] // Moscow: from 14.11.2016. 256 p.

4. Koven'kin D.A. Etapy zhiznennogo tsikla verkhnego stroeniya zheleznodorozhnogo puti [Stages of the life cycle of the upper structure of the railway track]. [Text] / D.A. Koven'kin, V.A. Podverbnyi // Proektirovanie razvitiya regional'noi seti zheleznykh dorog [Designing the development of the regional railway network], 2015, no 3, pp. 151–156.

5. Sarkisyan. S.A. Theory of forecasting and decision-making [Electronic resource] /S.A. Sarkisyan.//Saint Petersburg: Higher School, 1977. 352 p. - Access mode: <https://nashol.me/20190813112395/teoriya-prognozirovaniya-i-prinyatiya-reshenii-sarkisyana-s-a-1977.html> free. – Blank from the screen. – Yaz. rus..

Информация об авторах

Анциферова Валерия Олеговна – студентка факультета «Строительство железных дорог», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, valeria_anciferova@mail.ru

Зеленский Эдуард Евгеньевич – студент факультета «Строительство железных дорог», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, zelenskiyily2001@mail.ru