

УДК 625.1

С. С. Курмис<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Сибирский государственный университет путей сообщения, г. Новосибирск, Российская Федерация

## ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ ШПАЛ НА Б. ДИСТАНЦИ ПУТИ

**Аннотация.** Шпалы основной элемент конструкции верхнего строения пути, от надежности шпал зависит безопасность движения поездов. В данной работе была выполнена оценка надежности шпал на Б. дистанции пути, определены значения основных показателей безотказности: средняя наработка шпал до первого отказа и ее среднеквадратическое отклонение. Составлен прогноз отказов шпал в зависимости от пропущенного тоннажа. Построены графики сравнения фактического и прогнозируемого значения отказов шпал в зависимости от тоннажа, найдена ошибка прогноза. Прогнозирование отказов шпал позволяет планировать работы по текущему содержанию пути. Данная методика может применяться в других подразделениях путевого хозяйства железных дорог и для других элементов пути.

**Ключевые слова:** шпала, надежность, отказ, наработка тоннажа, среднеквадратическое отклонение, показатели безотказности, квантиль нормального распределения.

S. S. Kurmis<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Siberian State University of Railway Transport, Novosibirsk, Russian Federation

## EVALUATION OF THE RELIABILITY OF SLEEPERS ON A B. DISTANCE TRACK

**Abstract.** Sleepers are the main element of the construction of the upper structure of the track, the safety of train traffic depends on the reliability of the sleepers. In this paper, we evaluated the reliability of sleepers at a certain distance of the track, and determined the values of the main indicators of reliability: the average operating time of sleepers before the first failure and its standard deviation. A forecast of sleeper failures is made depending on the missed tone. Graphs of comparison of the actual and predicted values of sleeper failures depending on the tonnage are constructed, and the forecast error is found. Predicting sleeper failures allows you to plan work on the current track content. This technique can be used in other divisions of the railway track management and for other elements of the track.

**Key words:** sleeper, reliability, failure, operating time of tonnage, standard deviation, reliability indicators, quantile of normal distribution.

### Введение

Шпалы, являются одним из основных элементов конструкции верхнего строения пути, это специальные балочные конструкции, которые применяются при строительстве железнодорожной колеи в качестве опор для рельсов, по которым перемещается типовой подвижной состав с нагрузками и скоростями, установленными для общей сети железных дорог [5]. Они воспринимают давление поездной нагрузки от вертикальных, боковых и продольных усилий рельсов и стрелочных переводов, равномерно распределяют их на большую площадь и передают на балласт.

Шпалы должны обеспечивать безопасность, плавность и бесперебойность движения поездов. Низкая надежность шпал может влиять на неустойчивое положение верхнего строения пути, уширение рельсовой колеи, более допустимых норм и на раскантовку рельсов [1].

Целью данной работы сделать оценку надежности шпал на примере Б. дистанции пути. Для этого необходимо рассмотреть следующие задачи: изучить методику надежности, изучить характеристику дистанции пути и в соответствии с методикой, выполнить оценку надежности шпал на участках дистанции.

### Расчет критериев надежности

Вероятностью безотказной работы называется вероятность того, что при определенных условиях эксплуатации в пределах заданной наработки, выраженной в млн. т брутто пропущенного тоннажа, не произойдет ни одного отказа [3].

$$P(t) = P(T > t), \quad (1)$$

где  $t$  – наработка, в течение которой определяется вероятность безотказной работы;

$T$  – наработка от начала до первого отказа.

Накопленная частота безотказной работы по статическим данным об отказах оценивается выражением:

$$\bar{P}(t_i) = \frac{N(t_i)}{N_0}, \quad (2)$$

где  $N_0$  – число изделий в начале испытаний, шт;

$N(t_i)$  – число безотказно проработавших изделий к моменту наработки  $t_i$ .

Вероятность отказа – это вероятность при определенных условиях эксплуатации в заданном интервале наработки возникает хотя бы один отказ. Отказ и безотказная работа являются событиями противоположными.

$$F(t) = P(T \leq t), \quad (3)$$

$$\bar{F}(t_i) = \frac{r(t_i)}{N_0} = 1 - \bar{P}(t_i), \quad (4)$$

где  $r(t_i)$  – число отказов к моменту времени  $t_i$ .

По мере увеличения наработки возрастает число отказавших изделий и убывает соответственно число работоспособных [2]. Накопленное число отказов  $r(t_i)$ , как сумма отказов в интервалах, и, соответственно, число оставшихся работоспособными изделий  $N(t_i)$  определяются по следующим формулам

$$r(t_i) = \sum_{i=1}^k n_i \quad r(t_i) = \sum_i^k n_i, \quad (5)$$

$$N(t_i) = N_0 - r(t_i) \quad N(t_i) = N_0 - r(t_i). \quad (6)$$

Более полное, а главное, обобщенное представление о надежности дают не абсолютные, а относительные (удельные) значения полученных данных. Так, вместо абсолютных значений числа отказов в интервале  $t_i$  целесообразно подсчитать отношение:

$$\omega_i = \frac{n_i}{N_0}, \quad (4)$$

т.е. долю отказов в интервале, приходящихся на одно изделие из числа находящихся под наблюдением. Это отношение называется частотой.

Статическая оценка плотности безотказной работы определяется по формуле:

$$\bar{f}(t_i) = \frac{n_i}{\Delta t \cdot N_0}. \quad (5)$$

Интенсивностью отказов называется отношение числа отказавших изделий в единицу наработки к числу изделий, безотказно работающих к рассматриваемому моменту наработки:

$$\bar{\lambda}(t_i) = \frac{n_i}{DtN(t_i)}. \quad (6)$$

Вероятностная оценка интенсивности отказов находится из выражения

$$\lambda = \frac{f(t)}{P(t)}. \quad (7)$$

Важным показателем надежности, с помощью которого оценивается безотказность, является средняя наработка до первого, определяемая по формуле:

$$\bar{T}_{cp} = \sum_{i=1}^k \frac{t_i \cdot n_i}{N_0}. \quad (8)$$

где  $k$  – число интервалов,

$t_i$  – значение середины интервалов наработки, млн. т бр.

$n_i$  – число отказов в интервале, шт.

Рассеивание результатов оценивают дисперсией  $D$  и средним квадратическим отклонением  $\sigma$ .

Дисперсию можно определить

$$D_t = \frac{1}{N_0} \sum_{i=0}^k t_i^2 \cdot n_i - \bar{T}_{cp}^2, \quad (9)$$

Среднее квадратическое отклонение представляет собой взятый с положительным знаком квадратный корень из дисперсии, т.е.

$$\sigma_t = \sqrt{D_t}. \quad (10)$$

Испытав партию объектов, т.е. выборку, можно распространить результаты этих испытаний с некоторой точностью на генеральную совокупность.

### Оценка надежности шпал на Б. дистанции пути

На Б. дистанции средняя грузонапряженность составляет 7,302 млн т брутто/ км в год.

Развернутая длина главных путей равна 542,600 км, эксплуатационная длина пути равна 396,136 км. Средняя скорость пассажирских поездов 100 км/ч, грузовых поездов 80 км/ч.

Общее количество шпал, лежащих в пути, составляет 1242,891 тыс. шт., из них дефектные - 51,707 тыс. шт. количество деревянных шпал – 352,702 тыс. шт, железобетонных первого срока – 715,389 тыс. шт., железобетонные переложенные – 174,800 тыс. шт.

Протяжение пути на железобетонных шпалах – 484,715 км, в том числе на главных путях – 417,897 км.

Данные о количестве негодных шпал в зависимости от наработки тоннажа на участке Б. –Л., по первому пути, протяженностью 143 километра, представлены в таблице 1, по второму пути, протяженностью 107 километров, в таблице 2.

Таблица 1 – Параметры негодных шпал по первому пути

Наработка $t_i$ , млн т бр.	Частота отказов $R(t_i)$ , шт./км	Накопленная частота отказов $F(t_i)$	Накопленная частота безотказной работы $P(t_i)$	Квантиль $U_{pi}$
300	3,66	0,00202	0,99798	2,88
500	4,17	0,00231	0,99769	2,83
700	6,25	0,00338	0,99662	2,71
900	5,00	0,00267	0,99733	2,79

Таблица 2 – Параметры негодных шпал по второму пути

Наработка $t_i$ , млн т бр.	Частота отказов $R(t_i)$ , шт./км	Накопленная частота отказов $F(t_i)$	Накопленная частота безотказной работы $P(t_i)$	Квантиль $U_{P_i}$
350	1,35	0,00074	0,99926	3,28
450	4,00	0,00218	0,99782	2,85
550	4,33	0,00228	0,99771	2,84
650	4,84	0,00262	0,99737	2,79

Квантили  $U_p$  определяются по значениям частоты  $F(t_i)$  с использованием таблицы А2 [2]. Индекс  $P_i$  означает «вероятность» и в таблицах квантилей задается в пределах  $0,5 \leq P \leq 1$ , если  $P \leq 0,5$ , то определяют  $1 - P$ , т.е.  $U_{1-P} = -U_P$ .

$$\begin{cases} T_{cp} + U_{P_1} \sigma_t = t_1; \\ T_{cp} + U_{P_2} \sigma_t = t_2; \\ \dots \\ T_{cp} + U_{P_r} \sigma_t = t_r. \end{cases} \quad (11)$$

Для каждой наработки составляются уравнения, выполняется подробный расчет по первому пути

$$\begin{cases} T_{cp} - 2,88 \cdot \sigma_t = 300; \\ T_{cp} - 2,83 \cdot \sigma_t = 500; \\ T_{cp} - 2,71 \cdot \sigma_t = 700; \\ T_{cp} - 2,79 \cdot \sigma_t = 900. \end{cases}$$

Складывая левые и правые части уравнений:

$$4 \cdot T_{cp} - 11,21 \cdot \sigma_t = 2400.$$

Умножая левые и правые части уравнений на квантили  $U_{1-P}$  и аналогично складывая, найдем:

$$11,21 \cdot T_{cp} - 31,43 \cdot \sigma_t = 6687.$$

Значения параметров  $T_{cp}$  и  $\sigma_t$  определим, решая систему полученных двух уравнений.

В итоге получено по первому пути:

$$4 \cdot T_{cp} - 11,21 \cdot \sigma_t = 2400;$$

$$11,21 \cdot T_{cp} - 31,43 \cdot \sigma_t = 6687.$$

$$T_{cp} = 8420,93 \text{ млн т, } \sigma_t = 2790,70 \text{ млн т.}$$

Выполнив аналогичные расчеты для второго пути, получили:

$$\begin{cases} 4 \cdot T_{cp} - 11,76 \cdot \sigma_t = 2000; \\ 11,76 \cdot T_{cp} - 34,73 \cdot \sigma_t = 5806. \end{cases}$$

$$T_{cp} = 1898,20 \text{ млн т, } \sigma_t = 475,57 \text{ млн т.}$$

Вывод: В результате расчетов были определены средняя наработка шпал до первого отказа и ее среднеквадратическое отклонение по первому и второму пути. На основе этих данных будет составлен прогноз выхода рельсов.

### Прогнозирование отказов шпал на участках Б. дистанции

При прогнозировании необходимо решить задачу: по известным оценкам  $T_{cp}$  и  $\sigma_t$  вычислить точечный прогноз вероятности отказов рельсов  $F(t_i)$  при наработке  $t_i$ . [2]

Квантиль нормального распределения, соответствующей вероятности  $F(t_i)$  определяется по формуле

$$U_{P_i} = \frac{t_i - T_{cp}}{\sigma_t}, \quad (12)$$

Зная квантиль  $U_{1-P}$  определяем вероятность  $F(t_i)$  с использованием табулированной функции  $F_0(x)$ , приведенной в таблице А.2. Оценку суммарного выхода рельсов из расчета на один километр пути определим по формуле

$$n(t_i) = X \cdot F(t_i), \quad (13)$$

где  $X$  – среднее количество шпал на одном километре пути.

Относительная ошибка прогноза определяется по формуле

$$E = \frac{n_n - n_\phi}{n_\phi} \cdot 100\%, \quad (14)$$

где  $n_n$  и  $n_\phi$  – прогнозируемое и фактическое значение выхода шпал, шт/км.

Результаты вычислений представлены в таблицах 3 и 4

**Таблица 3 – Расчет прогноза отказов шпал по первому пути**

Наработка $t_i$ , млн т бр.	Квантиль нормального распределения $U_{pi}$	Вероятность отказов $F(t_i)$	Оценка суммарного выхода шпал $n(t_i)$	Фактическая частота отказов $R(t)$ , шт/км	Относительная ошибка прогноза $E$ , %
100	3,02	0,00126	2,30		
200	2,95	0,00159	2,89	-	-
300	2,91	0,00181	3,29	3,66	35,12
500	2,84	0,00223	4,03	4,17	3,43
700	6,25	0,0028	5,07	6,25	18,82
900	2,69	0,00357	6,60	5,00	31,91
1100	2,62	0,0045	8,18	-	-
Среднее значение					21,75

**Таблица 4 – Расчет прогноза отказов шпал по второму пути**

Наработка $t_i$ , млн т бр.	Квантиль нормального распределения $U_{pi}$	Вероятность отказов $F(t_i)$	Оценка суммарного выхода шпал $n(t_i)$	Фактическая частота отказов $R(t)$ , шт/км	Относительная ошибка прогноза $E$ , %
150	3,68	0,00013	0,23	-	-
250	3,47	0,00026	0,48	-	-
350	3,26	0,00056	1,03	1,35	23,88
450	3,05	0,00114	2,11	4	47,23
550	2,83	0,00233	4,39	4,33	1,41
650	2,62	0,00466	8,60	4,84	67,61
750	2,41	0,00798	14,78	-	-
850	2,20	0,0139	25,76	-	-
950	1,99	0,0233	43,17	-	-
1050	1,78	0,03754	69,56	-	-
Среднее значение					34,50

Графики зависимости частоты отказов от наработки тоннажа изображены по первому пути на рисунке 1 и по второму пути на рисунке 2

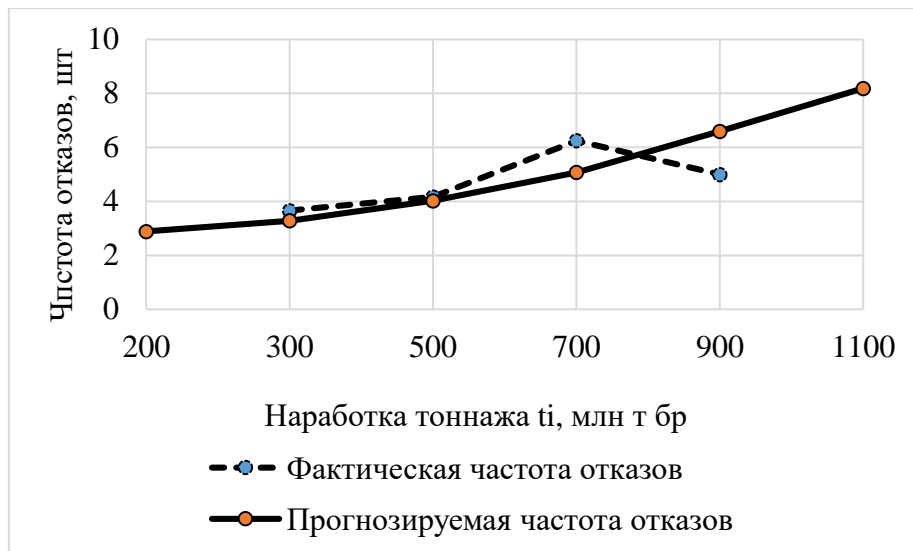


Рисунок 1– График сравнения прогнозируемого и фактического значения выхода шпал по первому пути

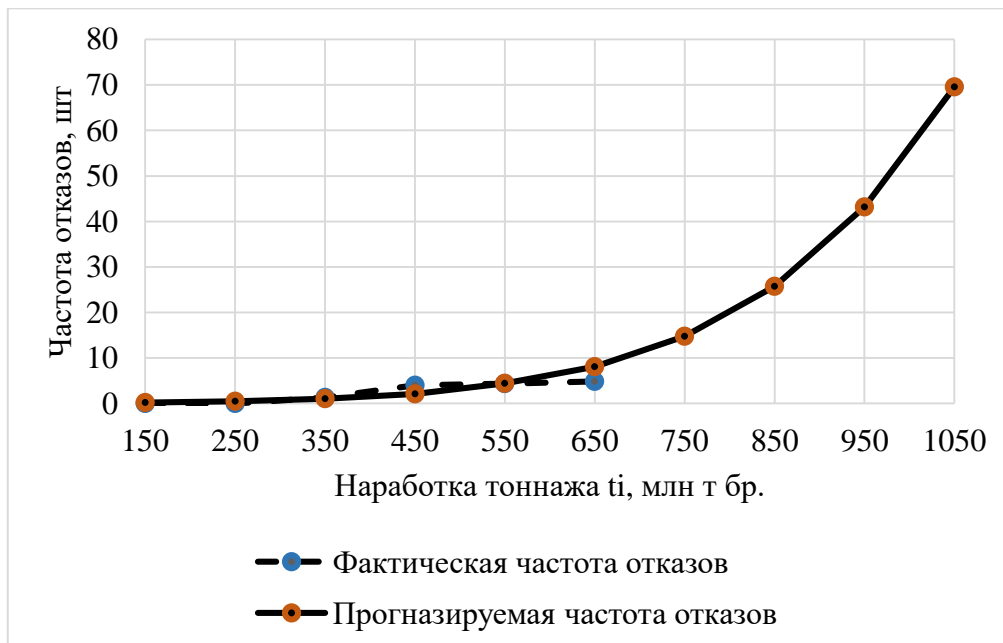


Рисунок 2–График сравнения прогнозируемого и фактического значения выхода шпал по второму пути

**Вывод:** По данным об отказах шпал на выбранном участке пути была выполнена оценка надежности шпал, определены значения основных показателей безотказности: средняя наработка шпал до первого отказа и ее среднеквадратическое отклонение. Были построены графики сравнения фактического и прогнозируемого значения частоты отказов в зависимости от тоннажа для каждого пути. Составлен прогноз отказов шпал в зависимости от пропущенного тоннажа, найдена ошибка прогноза, средняя величина которой составляет по первому пути 21,75%, а по второму пути 34,50%.

Прогноз отказов шпал позволяет прогнозировать их выход из строя, что можно использовать при планировании работ на дистанции пути.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1 Золотарский А.Ф., Евдокимов Б.А., Исаев Н.М., Железобетонные шпалы для рельсового пути, М: Транспорт, 1980. – 270 с.
- 2 Ильин П. П., Эффективнее использовать железобетонные шпал, Путь и путевое хозяйство. – 1974. - №7. – С.17-18.
3. Карпущенко Н.И., Осипов В.Г., Юдин О.Г.. Надежность железнодорожного пути. – Новосибирск: изд-во СГУПС, 2012 –34 с.
4. Карпущенко Н. И., Верескун В. Д., Величко Д. В.. Основы научных исследований: учеб. пособие для вузов ж.-д. трансп. – Новосибирск: изд-во СО РАН, 2009. - 231 с.
- 5 Лысюк В.С., Повышение эффективности использования железобетонных шпал, В.С. Лысюк. Железнодорожный транспорт. - №6. – М.: Трансжелдориздат, 1969. –С. 1-5.

## REFERENCES

- 1 Zolotarsky A. F., Evdokimov B. A., Isaev N. M., Reinforced concrete sleepers for the rail track, M: Transport, 1980. - 270 p.
- 2 Ilyin P. P., It is more efficient to use reinforced concrete sleepers, Track and track facilities. - 1974. - No. 7. - P. 17-18.
3. Karpushchenko N. I., Osipov V. G., Yudin O. G.. Reliability of the railway track. - Novosibirsk: SGUPS Publishing House, 2012 -34 p.
4. Karpushchenko N. I., Vereskun V. D., Velichko D. V. Fundamentals of scientific research: textbook. manual for universities of railway transport-Novosibirsk: Publishing House of SB RAS, 2009. - 231 p.
- 5 Lysyuk V. S., Improving the efficiency of the use of reinforced concrete sleepers, V. S. Lysyuk. Railway transport. - No. 6. - Moscow: Transzheldorizdat, 1969. - p. 1-5.

## Информация об авторах

*Курмис София Сергеевна* – студент, факультет «Строительство железных дорог», Сибирский государственный университет путей сообщения, г. Новосибирск, e-mail: sofia.kurmis@gmail.com

## Authors

*Kurmis Sophia Sergeevna.* -student, Faculty of Railway Construction, Siberian State University of Railway Transport, Novosibirsk, e-mail: sofia.kurmis@gmail.com

## Для цитирования

Курмис С.С. Оценка надежности шпал на Б. дистанции [Электронный ресурс] / С. С. Курмис // «Молодая наука Сибири»: электрон. науч. журн. – 2021. - № 2(12). – Режим доступа: <http://mnnv.irgups.ru/toma> свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус., англ.

## For citation

Kurmis S. S. Evaluation of the reliability of sleepers at a B. distance [Electronic resource] / S. S. Kurmis // «Young Science of Siberia»: electron. scientific journals – 2021. - № 2(12). – Access mode: <http://mnnv.irgups.ru/toma/> free. - Title from the screen. - Yaz. Rus.