

РАСЧЕТ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ ОБЪЕКТОВ ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ С УЧЕТОМ КАТЕГОРИИ ОТКАЗОВ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ОБ ОТКАЗАХ ТРЕТЬЕЙ КАТЕГОРИИ



А.В. Орлов



А.Н. Малых

В статье рассматривается вопрос инцидентов, возникающих в процессе эксплуатации железнодорожного транспорта и инфраструктуры. Инциденты которые приводят к потере поездо-часов, называются отказами и подразделяются на три категории. Авторами предложена методика расчета показателей надежности по отказам третьей категории, которая позволяет оценивать качество функционирования объектов транспортной инфраструктуры.

Ключевые слова: отказ, объекты транспортной инфраструктуры, надежность, железнодорожная автоматика и телемеханика

EDN: OVTHMZ

Одной из актуальных проблем железнодорожной транспортной сети является задержка поездов, связанная с периодически возникающими отказами объектов транспортной инфраструктуры (ОТИ). Согласно отраслевым нормативным документам ОАО «Российские железные дороги» [1], такие отказы подразделяются на отказы первой, второй и третьей категорий. Отказы первой и второй категории (ОПВК) — это отказы, которые привели к задержкам поездов более 6 минут, а отказы третьей категории (ОТК) — менее 6 минут.

При этом следует учитывать, что соответствующую категорию отказ получает не в момент возникновения, а по характеру последствий, прежде всего — времени потерь поездо-часов (п.ч.), вызванных этим отказом. При этом причина отказа в данном случае не учитыва-

ется. Таким образом, на категорию отказа влияет множество различных факторов, таких как время и место его возникновения, загруженность линии в соответствующий период времени, время восстановления объекта после отказа и т.д. Получается, что отказы одного и того же ОТИ, случившиеся по одинаковым причинам, в различные периоды времени, могут категорироваться по-разному. Заметим, что лишь по случайной случайности или по причине высококвалифицированных действий персонала эти отказы не превратились в ОПВК. Так, исходя из [2] за 2023 год произошло 4231 ОПВК, которые вызвали 9133,5 п.ч. потерь и 5647 ОТК, которые привели лишь к 12,4 п.ч. потерь. На рис. 1 наглядно показано соотношение числа ОПВК и ОТК. На рис. 1 видно, что, как правило, количество ОТК превышает количество ОПВК.

Орлов Александр Валерьевич, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Системы управления транспортной инфраструктурой» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: оценка эффективности функционирования объектов транспортной инфраструктуры, data science. Автор 100 научных работ.

Малых Александр Николаевич, старший преподаватель кафедры «Системы управления транспортной инфраструктурой» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: влияние надежности и эффективности систем железнодорожной автоматике и телемеханики на перевозочный процесс. Автор 32 научных работ.

Астапенко Дмитрий Викторович, главный системный программист ООО «Диалог-транс». Область научных интересов: безопасность и надежность микропроцессорных систем железнодорожной автоматике. Автор четырех научных работ.

Романов Николай Вячеславович, ассистент кафедры «Системы управления транспортной инфраструктурой» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: безопасность и надежность систем железнодорожной автоматике. Автор девяти научных работ.

В данной статье предложена методика расчета показателей надежности ОТИ по ОТК.

К показателям надежности ОТИ по ОТК относятся:

- интенсивность ОТК — λ_3 (1/ч);
- среднее время устранения ОТК — $T_{в.з}$ (ч);
- коэффициент готовности по ОТК — $K_{г.з}$.

Для каждого из показателей требуется рассчитать два значения: допустимое и фактическое.

Допустимые значения показателей надежности по ОТК находят в результате обработки статистики о различных инцидентах по множеству объектов ОТИ в пределах сети железных дорог. Допустимо выполнять расчет для участков в границах производственной деятельности отдельных железных дорог. Статистические данные рекомендуется формировать по данным за три смежных календарных года.

Фактические значения показателей надежности по ОТК определяют на основе статистических данных, собранных по результатам функционирования конкретного ОТИ, как правило в течение одного года.

При расчете допустимых значений показателей надежности по ОТК сохраняется общая идеология, описываемая пирамидой Гейнриха, основанная на установлении количественных соотношений между событиями с разной тяжестью последствий: ОПВК, отказами в целом, инцидентами [3]. Необходимость использования ОПВК для нормирования ОТК вызвана тем, что в методологии управления ресурсами, рисками и анализа надежности УРРАН показатели надежности по ОПВК относятся к показателям функциональной надежности,

а показатели надежности по ОТК — к показателям структурной надежности [4]. При этом нормирование показателей надежности в первую очередь выполняют исходя из допустимой величины последствий в виде потерь п.ч., далее получают допустимые показатели функциональной надежности, которые необходимо масштабировать в допустимые показатели структурной надежности. Одним из применяемых на практике методов такого масштабирования является модель пирамиды Гейнриха.

Рассмотрим алгоритм расчета допустимых и фактических значений показателей надежности по отказам различных категорий на примере систем железнодорожной автоматики и телемеханики (ЖАТ).

В качестве исходных данных для расчета выступают допустимые значения интенсивности отказов систем ЖАТ первой и второй категории в пределах участка железных дорог. ОТК составляют часть общего потока отказов, в который входят также и ОПВК, поэтому могут быть выделены с использованием переводного коэффициента пропорциональности, вычисляемого по статистике о регистрируемом количестве событий с разным уровнем тяжести последствий. Разумеется, данный метод будет эффективен только в случае регистрации всех возникающих инцидентов

Переводные коэффициенты требуется вычислять отдельно для каждой из групп объектов ЖАТ в пределах участка железных дорог. Признаки принадлежности к одной группе: одинаковый класс и специализация железнодорожной линии, одинаковый объект ЖАТ (станция/перегон), наличие или отсутствие систем

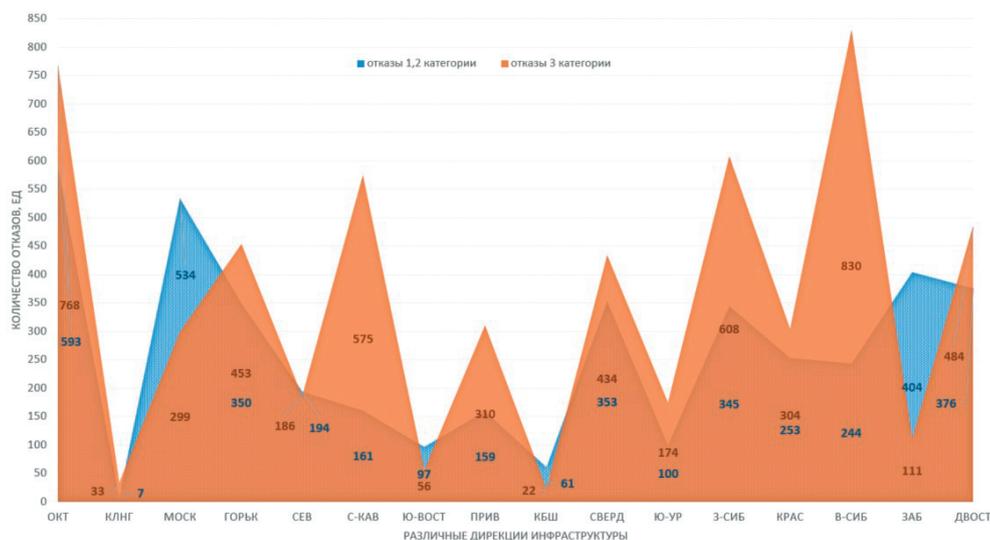


Рис. 1. Соотношение числа отказов первой, второй и третьей категории за 2023 год



Рис. 2. Пирамида Гейнриха при описании взаимосвязи между инцидентами и отказами ОТИ различных категорий

технической диагностики и мониторинга (СТДМ). Дополнительно может быть учтен размер объекта — системы ЖАТ, выраженный в количестве элементов, из которых он состоит (централизованных стрелок на станции, блок-участков на перегоне).

Так как на момент возникновения отказа категория у него отсутствует, то в качестве нормы времени для всех категорий при отсутствии иных данных может быть использована оценка в виде регламентного времени устранения отказов.

Переводной коэффициент, учитывающий соотношение между разными категориями отказов вычисляют после разбиения всей статистической совокупности об отказах по группам, сформированным по признакам: класс-специализация, станция/перегон, наличие или отсутствие СТДМ.

Расчет переводного коэффициента между количеством ОПВК и ОТК осуществляют по формуле:

$$k_{12 \rightarrow 3} = \frac{n_3}{n_{12}} \quad (1)$$

Среднее количество элементов в системе находят по формуле:

$$k_{\text{cp}} = \frac{\sum_{i=1}^m f_i}{m} \quad (2)$$

где m — количество объектов ЖАТ в выделенной по приведенным ранее признакам группе;

f_i — количество элементов системы (стрелок/блок-участков).

Максимальное и минимальное расчетное значение коэффициента $k_{12 \rightarrow 3}$ ограничивают по формуле:

$$k_{12 \rightarrow 3} = \begin{cases} k_{12 \rightarrow 3 \text{ max}}, & \text{если } k_{12 \rightarrow 3} > k_{12 \rightarrow 3 \text{ max}}; \\ k_{12 \rightarrow 3}, & \text{если } k_{12 \rightarrow 3 \text{ min}} \leq k_{12 \rightarrow 3} \leq k_{12 \rightarrow 3 \text{ max}}; \\ k_{12 \rightarrow 3 \text{ min}}, & \text{если } k_{12 \rightarrow 3} < k_{12 \rightarrow 3 \text{ min}}. \end{cases} \quad (3)$$

Рекомендуемые предельные значения коэффициента: $k_{12 \rightarrow 3 \text{ max}} = 5$, $k_{12 \rightarrow 3 \text{ min}} = 0,5$.

Коэффициент учета количества элементов в системе ЖАТ находят по формуле:

$$k_3 = \frac{f}{k_{\text{cp}}} \quad (4)$$

Коэффициент k_{cp} в формуле соответствует группе, к которой принадлежит объект ЖАТ. Его значение может быть дробным.

Для коэффициента k_3 выполняется процедура ограничения:

$$k'_3 = \begin{cases} k_3 > k_{3 \text{ max}} \rightarrow k_{3 \text{ max}}; \\ k_{3 \text{ min}} \leq k_3 \leq k_{3 \text{ max}} \rightarrow k_3; \\ k_3 < k_{3 \text{ min}} \rightarrow k_{3 \text{ min}}. \end{cases} \quad (5)$$

Рекомендуемые предельные значения коэффициента: $k_{3 \text{ max}} = 3$, $k_{12 \rightarrow 3 \text{ min}} = 0,3$.

В случае, если для коэффициентов k_3 выполнялась процедура ограничения (5), то необходимо произвести коррекцию по формуле:

$$k_{\text{кз}} = \frac{\sum_{j=1}^N k'_{3j}}{\sum_{j=1}^N k_{3j}} \quad (6)$$

где N — общее количество систем ЖАТ на участке.

Величину, пропорциональную допустимому значению интенсивности отказов третьей категории находят по формуле:

$$l = \lambda_{12 \text{ доп}} \cdot k_{12 \rightarrow 3} \cdot k'_3 \cdot k_{\text{кз}} \quad (7)$$

Расчет допустимого значения интенсивности ОТК j -й системы ЖАТ выполняют по формуле:

$$\lambda_{3 \text{ доп } j} = l_j \cdot \frac{\sum_{j=1}^N n_{3j}}{\sum_{j=1}^N n_{12j}} \cdot \frac{1}{\frac{\sum_{j=1}^N l_j}{\sum_{j=1}^N \lambda_{12 \text{ доп } j}}}, \quad 1/4 \quad (8)$$

Для отдельных объектов ЖАТ результат расчета приводят к целому количеству событий в год и к заданным единицам:

$$\lambda_{3\text{доп}j}^{\text{об}} = \frac{Z_{3j}}{365 \cdot 24 - Z_{3j} \cdot T_{\text{рег}}}, 1/\text{ч}, \quad (9)$$

где $Z_{3j} = \lceil 365 \cdot 24 \cdot \lambda_{3\text{доп}j} \rceil$.

[] – обозначение операции округления до ближайшего большего целого числа.

Результат расчета по формуле (8) может использоваться при вычислении интегральных и сетевых показателей надежности по ОТК, а результат, рассчитанный по формуле (9) – для расчетов у отдельных объектов ЖАТ.

Для отображения результата из формулы (9) его приводят к утвержденным единицам измерения:

$$\lambda_{3\text{доп}j}^{\text{об/}} = 30,5 \cdot 24 \cdot \lambda_{3\text{доп}j}^{\text{об}}, 1/\text{мес}. \quad (10)$$

Так как в качестве оценки среднего времени до восстановления принимается регламентное время устранения отказов $T_{\text{рег}j}$ для j -го объекта ЖАТ, то допустимое значение коэффициента готовности $K_{\Gamma_{3\text{доп}j}}$ для j -го объекта ЖАТ находят по формуле:

$$K_{\Gamma_{3\text{доп}j}} = \begin{cases} \frac{1}{1 + \lambda_{3\text{доп}j} \cdot T_{\text{рег}j}} - \text{для интегральных показателей,} \\ \frac{1}{1 + \lambda_{3\text{доп}j}^{\text{об}} \cdot T_{\text{рег}j}} - \text{для отдельного объекта.} \end{cases} \quad (11)$$

Расчет фактических значений показателей надежности по ОТК выполняют по формулам, аналогичным формулам, используемым при расчете показателей надежности по ОПВК приведено в [3], но с использованием статистических данных об ОТК конкретного объекта ЖАТ за отчетный период (месяц, квартал, год).

Формула для расчета фактического значения интенсивности ОТК имеет вид:

$$\lambda_{3\text{факт}j}^{\text{об}} = \frac{m_{3j}}{365 \cdot 24 - T_{\text{в}3j}}, 1/\text{ч}, \quad (12)$$

где m_{3j} – количество ОТК для j -го объекта ЖАТ за отчетный период;

$T_{\text{в}3j}$ – суммарное время устранения ОТК для j -го объекта ЖАТ за отчетный период, ч.

Для отображения результата из формулы (12) его приводят к утвержденным единицам измерения:

$$\lambda_{3\text{факт}j}^{\text{об/}} = 30,5 \cdot 24 \cdot \lambda_{3\text{факт}j}^{\text{об}}, 1/\text{мес}. \quad (13)$$

Фактическое значение среднего времени устранения ОТК находят по формуле:

$$T_{3j} = \frac{T_{\text{в}3j}}{m_{3j}}. \quad (14)$$

Фактическое значение коэффициента готовности находят по формуле:

$$K_{\Gamma_{3\text{факт}j}} = \frac{1}{1 + \lambda_{3\text{факт}j} \cdot T_{3j}}. \quad (15)$$

По результатам расчета допустимых и фактических значений показателей надежности по ОТК функционирование ОТИ признается удовлетворительным при выполнении следующих условий:

- фактическое значение интенсивности ОТК и фактическое значение времени устранения ОТК должны быть не более допустимого;

- фактическое значение коэффициента готовности по ОТК должно быть не менее допустимого.

Таким образом, приведенная методика позволяет оценивать качество функционирования ОТИ с учетом отказов различных категорий.



Литература

1. Методика классификации и специализации железнодорожных линий ОАО «РЖД» : утверждена Распоряжением ОАО «РЖД» от 23.12.2015 № 3048р. - 32 с. - Текст : непосредственный.
2. Анализ эксплуатационной деятельности хозяйства автоматики и телемеханики Центральной дирекции инфраструктуры за декабрь и 12 месяцев 2023 года. - Москва : ОАО «РЖД» : Управление автоматики и телемеханики Центральной дирекции инфраструктуры, 2023. - 86 с. - Текст : непосредственный.
3. Горелик, А. В. Нормирование, оценка и анализ показателей надежности систем железнодорожной автоматики и телемеханики на основе данных, представляемых информационными системами железнодорожного транспорта / А. В. Горелик, А. В. Орлов, Д. В. Солдатов. - Москва : РУТ (МИИТ). - Деп. в ВИНИТИ. - № 136. - В2017. - 474 с. - Текст : непосредственный.
4. Методология управления рисками в хозяйстве автоматики и телемеханики / А. Е. Ёрж, А. В. Горелик, Д. В. Солдатов, А. В. Орлов. - Текст : непосредственный // Автоматика, связь, информатика. - 2017. - №7. - С. 2 - 6.