

УДК 656.075

МЕТОДИКА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО СБОРА И ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ О ПРЕДОТКАЗНЫХ СОСТОЯНИЯХ ОТДЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ АВТОМАТИКИ И ТЕЛЕМЕХАНИКИ

¹Горелик А.В., ¹Орлов А.В., ²Шерстюков О.С.

¹ФГАОУ ВО «Российский университет транспорта», Москва, e-mail: gatsroat@yandex.ru;

²ФГБОУ ВО «Ростовский государственный университет путей сообщения», филиал,
Воронеж, e-mail: osherstukov@yandex.ru

Увеличение объема перевозок требует решения проблемы обеспечения необходимого уровня пропускной способности участков железных дорог и безопасности движения поездов. Отказы в устройствах железнодорожной автоматики и телемеханики вызывают сбои в движении поездов, приводят к росту издержек, связанных с внеплановыми остановками поездов, уменьшению участковой скорости. С целью снижения влияния отказов объектов железнодорожной инфраструктуры на перевозочный процесс в ОАО «Российские железные дороги» применяются автоматизированные информационные системы анализа статистических данных об имевших место инцидентах: отказах, предотказных состояниях и отступлениях от норм содержания устройств. Цель анализа – совершенствование процессов технической эксплуатации, позволяющее своевременно предотвращать и устранять возможные инциденты на инфраструктуре. В статье приводятся основные положения методики учета, сбора и систематизации статистических данных о предотказных состояниях устройств железнодорожной автоматики. В работе предложены определения и критерии предотказных состояний, формы представления соответствующих статистических данных. Кроме того, в работе рассмотрен один из возможных вариантов ранжирования предотказных состояний устройств железнодорожной автоматики по категориям в зависимости от значений критерия, характеризующего их техническое состояние.

Ключевые слова: железнодорожная автоматика, критические параметры, предотказные состояния, сбор информации, обработка информации, классификатор состояний

METHODS OF AUTOMATED COLLECTION AND PROCESSING OF INFORMATION ABOUT THE PRE-FAILURE STATES OF INDIVIDUAL RAILWAY AUTOMATION AND TELEMCHANICS DEVICES

¹Gorelik A.V., ¹Orlov A.V., ²Sherstyukov O.S.

¹Russian University of Transport, Moscow, e-mail: gatsroat@yandex.ru;

²Rostov State University of Railway Transport, branch, Voronezh, e-mail: osherstukov@yandex.ru

Increasing the volume of traffic requires solving the problem of ensuring the necessary level of capacity of railway sections and train traffic safety. Failures in railway automation and telemchanics devices cause disruptions in train traffic, lead to an increase in costs associated with unscheduled train stops, and a decrease in the local speed. In order to reduce the impact of failures of railway infrastructure facilities on the transportation process, JSC “Russian Railways” uses automated information systems for analyzing statistical data on incidents that have occurred: failures, pre-failure conditions and deviations from the standards of maintenance of devices. The purpose of the analysis is to improve the processes of technical operation, which allows timely prevention and elimination of possible incidents on the infrastructure. The article presents the main provisions of the methodology of accounting, collection and systematization of statistical data on the pre-failure states of railway automation devices. The paper offers definitions and criteria for pre-failure states, forms of presentation of relevant statistical data. In addition, the paper considers one of the possible options for ranking the pre-failure states of railway automation devices by categories, depending on the values of the criterion characterizing their technical condition.

Keywords: railway automation, critical parameters, pre-failure states, information collection, information processing, state classifier

В настоящее время с целью эффективно-го управления эксплуатационной деятельностью различных подразделений в ОАО «РЖД» активно применяется методология управления ресурсами, рисками и анализа надежности (УРРАН). Цель внедрения данной методологии заключается в снижении стоимости жизненного цикла объектов инфраструктуры при условии обеспечения высокого уровня надежности технических средств и требуемого уровня безопасности перевозочного процесса. При этом сами уровни надежности и безопасности опреде-

ляются, как правило, исходя из допустимых величин издержек на реализацию перевозочного процесса, а также на ликвидацию последствий, связанных с возможными отказами объектов инфраструктуры.

В хозяйстве железнодорожной автоматики и телемеханики (ЖАТ) реализация основных принципов методологии УРРАН [1] заключается в автоматизации риск-ориентированного планирования ресурсов, необходимых для предотвращения и своевременного устранения возможных отказов систем и устройств ЖАТ. Решение

данной задачи требует разработки научно обоснованных методов анализа статистических данных не только об отказах систем и устройств ЖАТ, но и о случайных событиях, которые могут потенциально привести к их возникновению. К таким событиям относят возникновение предотказных состояний и отступлений от норм содержания технических средств ЖАТ.

Материалы и методы исследования

Работоспособное состояние, как состояние, при котором устройство или система ЖАТ может выполнять целевые функции, характеризуется своей совокупностью критических параметров и их пороговых значений:

$$[z_i^{\min}] < z_i < [z_i^{\max}], \quad i = 1, \dots, n. \quad (1)$$

Причем

$$[Z^{\min}] = ([z_i^{\min}] | i = 1, \dots, n),$$

$$[Z^{\max}] = ([z_i^{\max}] | i = 1, \dots, n), \quad (2)$$

где $[z_i]$ – допустимое значение i -го критического параметра устройства или системы ЖАТ, характеризующего его работоспособное состояние.

Тогда условие работоспособности устройства или системы ЖАТ имеет вид

$$R = \begin{cases} 1 \rightarrow \text{работоспособное состояние;} \\ 0 \rightarrow \text{неработоспособное состояние.} \end{cases} \quad (3)$$

где

$$R = \prod_{i=1}^n (r_i^{\min} \cdot r_i^{\max}). \quad (4)$$

Причем

$$r_i^{\min} = \begin{cases} [z_i^{\min}] - z_i < 0 & \rightarrow 1 \\ [z_i^{\min}] - z_i \geq 0 & \rightarrow 0 \end{cases},$$

$$r_i^{\max} = \begin{cases} [z_i^{\max}] - z_i > 0 & \rightarrow 1 \\ [z_i^{\max}] - z_i \leq 0 & \rightarrow 0 \end{cases}. \quad (5)$$

Оператор R обобщает отклонения по всем специальным параметрам устройства или системы ЖАТ.

В соответствии с (3) устройство или система ЖАТ признается неработоспособным при $R = 0$ и работоспособным при $R = 1$, вне зависимости от того, какой из параметров z_i не удовлетворяет условию (1).

Учитывая вышеизложенное, предотказное состояние – это состояние устройства

или системы ЖАТ, при котором значение хотя бы одного специального параметра, характеризующего приближение отдельного устройства ЖАТ или системы ЖАТ к отказу, достигает значения, указанного в эксплуатационной документации или значение любого параметра, характеризующего работоспособность, достигает величины упреждающего допуска, указанного в эксплуатационной документации.

Для планирования и организации системы технического обслуживания в хозяйстве автоматики и телемеханики необходимо производить оценку предотказных состояний устройств и систем СЦБ на всей сети железных дорог.

Для оценки предотказных состояний некоторого устройства или системы ЖАТ необходимо:

1. Задать совокупность критических параметров, характеризующих способность выполнять заданные в нормативной и эксплуатационной документации функции;

2. Определить пороговые значения критических параметров;

3. Произвести сбор и обработку данных о фактическом состоянии устройств и систем ЖАТ, находящихся в эксплуатации [2].

Сравнение фактических значений критических параметров с их допустимыми значениями должно позволять однозначно идентифицировать предотказное состояние, в котором находится устройство или система ЖАТ.

Для сбора и регистрации информации о техническом состоянии устройств ЖАТ используются три способа: ручной, механизированный (с помощью специальных средств автоматизации сбора и регистрации), автоматический.

Автоматизированный сбор информации осуществляется при помощи специальных систем сбора и регистрации информации, позволяющих собирать информацию одновременно с большого количества устройств ЖАТ, т.е. используются системы непрерывного контроля.

Для определения критических параметров предотказных состояний устройств ЖАТ необходимо определить их номенклатуру. Номенклатура критических параметров различна и определяется отдельно для каждого типа устройств ЖАТ, с учетом их физической реализации, особенностями протекающих в них процессов, элементной базой и функциональным назначением [3, 4].

В качестве критических параметров предотказных состояний отдельных устройств ЖАТ используются параметры, определяемые физическими процессами,

протекающими внутри устройства, определяемые детерминированно в результате непосредственных измерений: токи, напряжения, временные характеристики, зазоры и люфты, моменты.

Номенклатура и нормы критических параметров предотказных состояний отдельных устройств ЖАТ определяются согласно соответствующим утвержденным основным техническим требованиям и нормам содержания устройств сигнализации, централизации и блокировки.

Результаты исследования и их обсуждение

При реализации процесса сбора и представления информации о предотказных состояниях устройств ЖАТ необходимо придерживаться следующих правил:

1. Измерения значений критических параметров предотказных состояний производятся согласно утвержденным инструкциям и технологическим картам.

2. Результаты измерений заносятся в соответствующие журналы учета и контроля и (или) используются автоматизированные рабочие места (АРМ) соответствующего уровня доступа.

3. Полученные результаты измерений и контроля критических параметров представляются в виде таблицы, макет которой представлен на рис. 1.

В макете таблицы, приведенном на рис. 1:

- столбец № 1 «№ п/п» – порядковый номер устройства в таблице, т.е. номер строки;
- столбец № 2 «Название перегона / станции» – в качестве названия перегона записывается через тире название станций, ограничивающих данный перегон, для станций указывается непосредственно ее название;
- столбец № 3 «Тип устройства» – наименование типа устройства ЖАТ;
- столбец № 4 «Код устройства» – индивидуальный номер устройства ЖАТ в пределах соответствующего перегона или станции;
- столбец № 5 «Критический параметр» – критический параметр предотказного состояния соответствующего устройства ЖАТ согласно нормам;
- столбец № 6 «Единица измерения» – единица измерения критического параметра

предотказного состояния соответствующего устройства ЖАТ согласно используемым нормам;

– столбец № 7 «Значение» – фактическое значение критического параметра предотказного состояния соответствующего устройства ЖАТ согласно используемым нормам;

– столбец № 8 «Дата» – календарная дата проведения измерения критического параметра предотказного состояния соответствующего устройства ЖАТ.

Обработка информации осуществляется по-разному для отдельных устройств ЖАТ и для систем ЖАТ, так как для первых оценка предотказных состояний осуществляется по непосредственно измеряемым критическим параметрам, а для вторых – косвенно, на основе обработки статистических данных о связанных с критическим параметром событиях.

В основу процесса обработки информации для оценки предотказных состояний отдельных устройств ЖАТ заложены следующие принципы [5–7]:

1. Каждый i -й критический параметр отдельного j -го типа устройств ЖАТ обозначается x_{ij} .

2. Область значений параметра x_{ij} , характеризующая предотказное состояние устройства ЖАТ, определяется неравенством

$$Z(x_{ij}) = x_{\min ij} \leq x_{ij} \leq x_{\max ij}, \quad (6)$$

где $x_{\min ij}$, $x_{\max ij}$ – нижнее и верхнее граничные значения критического параметра x_{ij} , соответствующие предотказному состоянию устройства ЖАТ.

3. Область предотказных состояний устройства ЖАТ j -го типа по всем учитываемым специальным параметрам определяется множеством вида

$$Z_{пред j} = \{Z(x_{ij}) \mid i = 1, \dots, n_j\}, \quad (7)$$

где n_j – количество учитываемых критических параметров устройства ЖАТ j -го типа.

В качестве номенклатуры критических параметров x_{ij} и норм их пороговых значений для устройств ЖАТ различных типов используются данные, представленные в утвержденных основных технических требованиях и нормах содержания устройств сигнализации, централизации и блокировки.

№ п/п	Название перегона / станции	Тип устройства ЖАТ	Код устройства	Критический параметр	Единица измерения	Значение	Дата

Рис. 1. Макет таблицы «Результаты измерений и контроля»

Критические параметры нормируются по-разному, в связи с чем:

а) для параметров устройств ЖАТ, значение которых контролируется шупом, а также для параметров, где отклонение недопустимо и должно отсутствовать, предотказное состояние не выявляется. Для его выявления используют другие параметры устройства ЖАТ;

б) предотказное состояние устройства ЖАТ на основе параметров, у которых норма задается в виде номинального значения с нормами положительного и отрицательного отклонения, оценивается соотношением фактического значения такого параметра к ближайшему предельному значению из верхней и нижней нормы;

в) норма, характеризующая достижение устройством ЖАТ определенного типа работоспособного состояния, может представлять собой минимальное либо максимальное допустимое значение. Подход к оценке

предотказных состояний по допустимому значению, представляющему собой максимум, является инверсным по отношению к подходу, основанному на использовании допустимого значения, представляющего минимум параметра.

Для учета различий в подходах, применяемых для нормирования различных критических параметров устройств ЖАТ, вводится оператор r , а значение параметра, соответствующее переходу устройства ЖАТ в неработоспособное состояние, обозначается как $[x_{ij}]$.

Границы интервала значений отдельного критического параметра устройства ЖАТ, соответствующие различным его предотказным состояниям, рассчитываются и представляются в виде классификатора, представленного в табл. 1.

В табл. 1 значение оператора r определяется в соответствии с правилом:

$$r = \begin{cases} 1 - \text{параметр } [x_{ij}] \text{ представляет нижнюю границу диапазона значений;} \\ 0 - \text{параметр } [x_{ij}] \text{ представляет верхнюю границу диапазона значений.} \end{cases}$$

Согласно табл. 1 границы интервалов, характеризующих различные предотказные состояния устройства ЖАТ определенного типа, для каждого критического параметра индивидуальны.

Вследствие того, что каждому отдельному типу устройств ЖАТ соответствует совокупность критических параметров и норм пороговых значений, предотказное состояние определяется, исходя из худшего фактического критического параметра, за исключением тех параметров, на основании которых предотказное состояние не контролируется.

Производится сравнение фактического значения критического параметра (столбец 7 макета таблицы на рис. 1) для каж-

дой строки таблицы, макет которой представлен на рис. 1 с пороговыми значениями согласно формуле (7).

В результате сравнения определяется метка (флаг) для соответствующего устройства:

– если неравенство (7) выполняется, то используется табл. 1 и метке присваиваются значения из табл. 2;

– если неравенство (7) не выполняется, но при этом устройство находится в работоспособном состоянии, то метке присваивается значение «б»;

– если неравенство (7) не выполняется, но при этом превышено допустимое значение критического параметра, то метке присваивается значение «0».

Таблица 1

Границы интервала значений критического параметра устройства ЖАТ определенного типа

Интервал значений критического параметра	Категория состояния устройства ЖАТ
$(0.975 \cdot [x_{ij}] + r \cdot 0.025; [x_{ij}])$	Недопустимая
$(0.95 \cdot [x_{ij}] + r \cdot 0.05; 0.975 \cdot [x_{ij}] + r \cdot 0.025)$	Критическая
$(0.925 \cdot [x_{ij}] + r \cdot 0.075; 0.95 \cdot [x_{ij}] + r \cdot 0.05)$	Граничная
$(0.9 \cdot [x_{ij}] + r \cdot 0.1; 0.925 \cdot [x_{ij}] + r \cdot 0.075)$	Нежелательная
$[\leq; 0.9 \cdot [x_{ij}] + r \cdot 0.1]$	Незначительная

Результаты сравнения представляются в виде таблицы, макет которой представлен на рис. 2.

На основе данных таблицы, макет которой представлен на рис. 2, определяется количество устройств ЖАТ, находящихся в разных состояниях:

N_1 – количество устройств, находящихся в недопустимом предотказном состоянии, – количество меток «1»;

N_2 – количество устройств, находящихся в критическом предотказном состоянии, – количество меток «2»;

N_3 – количество устройств, находящихся в граничном предотказном состоянии, – количество меток «3»;

N_4 – количество устройств, находящихся в нежелательном предотказном состоянии, – количество меток «4»;

N_5 – количество устройств, находящихся в незначительном предотказном состоянии, – количество меток «5»;

N_6 – количество устройств, находящихся в исправном состоянии, – количество меток «6»;

N_0 – количество устройств, у которых превышены пороговые значения критических параметров, – количество меток «0».

Доля устройств ЖАТ, находящихся в разных состояниях, определяется по соответствующим формулам, приведенным в табл. 3.

Таблица 2

Значения меток для категории состояния устройства ЖАТ определенного типа

Категория состояния устройства ЖАТ	Значение метки
Недопустимая	1
Критическая	2
Граничная	3
Нежелательная	4
Незначительная	5

№ п/п	Название перегона / станции	Тип устройства ЖАТ	Код устройства	Метка	Дата

Рис. 2. Макет таблицы, содержащей результаты сравнения

Таблица 3

Результаты обработки

Категория состояния устройства ЖАТ	Результат обработки (количество устройств)	Расчетная формула	Результаты расчетов, %
Недопустимая	N_1	$G_1 = \frac{N_1}{N_{\text{общ}}} \cdot 100\%$	G_1
Критическая	N_2	$G_2 = \frac{N_2}{N_{\text{общ}}} \cdot 100\%$	G_2
Граничная	N_3	$G_3 = \frac{N_3}{N_{\text{общ}}} \cdot 100\%$	G_3
Нежелательная	N_4	$G_4 = \frac{N_4}{N_{\text{общ}}} \cdot 100\%$	G_4
Незначительная	N_5	$G_5 = \frac{N_5}{N_{\text{общ}}} \cdot 100\%$	G_5
Предотказное состояние	$N_{\text{п}} = N_1 + N_2 + N_3 + N_4 + N_5$	$G_{\text{п}} = G_1 + G_2 + G_3 + G_4 + G_5$	$G_{\text{п}}$

Окончание табл. 3			
Категория состояния устройства ЖАТ	Результат обработки (количество устройств)	Расчетная формула	Результаты расчетов, %
Работоспособное состояние	N_6	$G_6 = \frac{N_6}{N_{\text{общ}}} \cdot 100\%$	G_6
Превышение пороговых значений предотказного состояния	N_0	$G_0 = \frac{N_0}{N_{\text{общ}}} \cdot 100\%$	G_0

Примечание. В табл. 3 $N_{\text{общ}} = N_{\text{п}} + N_6 + N_0$ – общее количество устройств ЖАТ; в результате расчетов должно выполняться равенство $G_{\text{п}} + G_6 + G_0 = 100\%$.

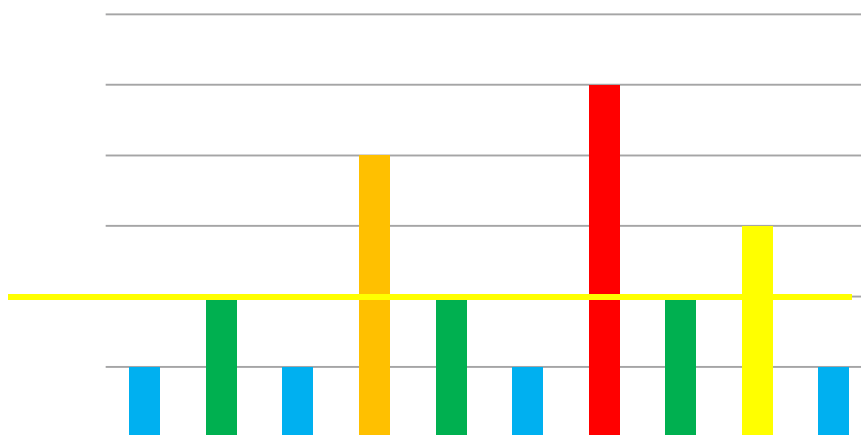


Рис. 3. Оценка уровня предотказного состояния устройств ЖАТ

Для нахождения среднего значения каждого критического параметра устройств ЖАТ заданного типа на участке и оценки предотказного состояния группы устройств ЖАТ по анализируемому параметру вычисляется среднее арифметическое значение из всех измеренных параметров устройств.

Фактическое усредненное значение критического параметра сопоставляется с нормой в соответствии с классификатором, представленным в табл. 1. Аналогично оценивается уровень предотказного состояния устройств ЖАТ заданного типа по всем критическим параметрам. Результат представляется в виде столбиковой диаграммы, где каждому столбцу соответствует один из критических параметров, а высоте столбца – уровень предотказного состояния. Пример диаграммы представлен на рис. 3.

На рисунке цвет столбца соответствует категории предотказного состояния по соответствующему критическому параметру. Цвет горизонтальной линии соответствует усредненному предотказному состоянию устройства по всем критическим параметрам.

Заключение

Оценка предотказного состояния устройства или системы ЖАТ возможна только при условии, что известны сразу два значения критического параметра:

- пороговое (допустимое) значение критического параметра;
- фактическое значение критического параметра.

Пороговое значение критического параметра определяется эксплуатационно-техническими требованиями к устройству или системе ЖАТ и, как правило, известно либо может быть вычислено.

Фактическое значение критического параметра конкретного устройства или системы ЖАТ должно определяться методом сбора и обработки статистических данных о функционировании системы или устройства ЖАТ в течение некоторого расчетного интервала времени. Таким образом, для оценки предотказных состояний систем и устройств ЖАТ требуется использовать алгоритмы автоматизированного сбора и обработки информации о фактических значе-

ниях критических параметров устройств и систем ЖАТ, базирующиеся на вышеуказанных положениях.

Применение разработанной методики сбора и обработки информации позволит подразделениям хозяйства автоматики и телемеханики осуществлять формирование и первичную обработку исходных данных для двух видов оценки предотказных состояний: вероятностной – для систем ЖАТ и детерминированной – для отдельных устройств ЖАТ с использованием автоматизированных систем сбора и обработки статистической информации.

Список литературы

1. Безродный Б.Ф., Горелик А.В., Журавлев И.А., Невазов П.А., Орлов А.В., Солдатов Д.В., Шалягин Д.В. Оценка качества функционирования систем железнодорожной автоматики и телемеханики на основе методологии УРРАН // Депонированная рукопись – 25 с. Деп. в ВИНТИ, 20.08.2012, № 346. В2012.
2. Сапожников Вл.В. Надежность систем железнодорожной автоматики, телемеханики и связи: учеб. пособие / Под ред. Вл.В. Сапожникова. М.: ФГБУ ДПО «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2017. 318 с.
3. Козлов Б.А., Ушаков И.А. Справочник по расчету надежности аппаратуры радиоэлектроники и автоматики. М.: Советское радио, 1975. 472 с.
4. Соколов М.М. Основы железнодорожной автоматики и телемеханики: учебное пособие. Ч. 1 / Омский гос. ун-т путей сообщения. Омск, 2020. 79 с.
5. Методика оценки рисков, связанных с функционированием систем железнодорожной автоматики и телемеханики ОАО «РЖД»: утв. распоряжением ОАО «РЖД» от 21.11.2015 № 3031 р. 39 с.
6. Методические указания «Управление надежностью функционирования систем железнодорожной автоматики и телемеханики на основе методологий ALARP и УРРАН»: утв. распоряжением ОАО «РЖД» от 23.12.2016 г. № 2651 р.
7. Безродный Б.Ф., Горелик А.В., Журавлев И.А., Невазов П.А., Орлов А.В., Тарадин Н.А., Шалягин Д.В. Методика расчета показателей надежности, безопасности и оценки рисков функционирования систем интервального регулирования. М., 2012. 49 с. Деп. в ВИНТИ, 09.07.12, № 298. В2012.