

10 Identification of Critical States of Technological Processes Based on Predictive Analytics Methods / S. M. Kovalev, I. A. Olgeizer, A. V. Sukhanov, K. I. Kornienko // Automation and Remote Control. – 2023. – Vol. 84, № 4. – P. 424–433. – DOI: 10.1134/S0005117923040100.

11 Инновационные алгоритмы машинного зрения для диагностики продольного профиля сортировочных путей / А. И. Долгий, А. Е. Хатламаджиян, И. А. Ольгейзер [и др.] // Автоматика, связь, информатика. – 2022. – № 8. – С. 7–9. – DOI: 10.34649/AT.2022.8.8.002.

12 **Ольгейзер, И. А.** Применение систем технического зрения для повышения уровня полноты безопасности / И. А. Ольгейзер, К. И. Корниенко, С. Ю. Гришаев // Проблемы безопасности на транспорте : материалы XIII Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. Году качества. Гомель, 21–22 нояб. 2024 г. В 2 ч. Ч. 1. – Гомель : БелГУТ, 2024. – С. 227–229.

13 Устройство счета и контроля расцепа вагонов / И. А. Ольгейзер, А. В. Суханов, К. И. Корниенко, П. В. Боровлев // Автоматика, связь, информатика. – 2024. – № 5. – С. 9–11. – DOI: 10.62994/AT.2024.5.5.001.

14 Патент № 2836946 С1 Российской Федерации, МПК B61K 9/08, B61J 3/02, G01P 3/68. Способ содержания путей железнодорожного сортировочного парка на основе данных видеоаналитики : заявл. 24.09.2024: опубл. 24.03.2025 / К. И. Корниенко, И. А. Ольгейзер, Д. А. Рыжов [и др.] ; заявитель Акционерное общество «Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт информатизации, автоматизации и связи на железнодорожном транспорте».

15 Метод оптической идентификации железнодорожных подвижных единиц на основе интегральных устойчивых признаков / А. В. Суханов, И. С. Артемьев, А. И. Долгий, А. Е. Хатламаджиян // Инженерный вестник Дона. – 2013. – № 4 (27). – С. 118.

УДК 621-192:519.816

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ БЕЗОПАСНОСТИ МЕХАНИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

Н. Г. ПЕНЬКОВА, С. В. ИПАТОВ

Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт информатизации, автоматизации и связи на железнодорожном транспорте, г. Москва, Российская Федерация

В современных аппаратно-программных комплексах систем железнодорожной автоматики и телемеханики отказы носят внезапный характер и обеспечение их безопасности и надежности базируется на основах теории дискретных устройств. Тогда как для механических элементов подвижного состава характерна постепенная деградация показателей прочностных характеристик, влияющих на надежность и безопасность перевозочного процесса.

Обеспечение безопасности механических изделий (таких как элементы ходовой части, тормозные системы, сцепные устройства) является критически важной задачей в железнодорожном транспорте. Традиционные подходы к оценке надежности, основанные на моделях потоков внезапных отказов (например, марковские модели для систем автоматики), неприменимы для механических объектов, чьи отказы носят постепенный, износовый характер.

Механическое изделие обладает некоторыми контролируемыми параметрами  $S$ , по значениям которых можно судить о его состоянии исправности. Существует номинальное (эталонное) значение  $\mu$ , при котором изделие функционирует оптимально. На этапе производства основной целью является достижение такого значения параметра  $S$ , которое будет максимально приближено к значению  $\mu$ , т. е. однозначно отвечает диапазону «исправное состояние». Однако по естественным причинам реализация процесса производства приводит к возникновению случайной величины, характеризующей отклонение фактического значения параметра от требуемого ( $\Delta$ ). Таким образом, фактическое значение параметра также является случайной величиной, которая подчиняется закону нормального распределения.

На рисунке 1 представлена графическая интерпретация нормального распределения, характерного для данного явления, в котором:

– имеется сильная тенденция данных группироваться вокруг центра (все производимые образцы изделия потенциально имеют одно и то же значение параметра  $S_{исп}$ );

– положительные и отрицательные отклонения от центра равновероятны (недостаточно качественное производство с одинаковой вероятностью может привести к изменению значения параметра как в положительную, так и в отрицательную сторону  $[S_{исп} - \Delta; S_{исп} + \Delta]$ );

— частота отклонений резко падает, когда отклонения от центра становятся большими (образцы изделия, у которых  $\Delta$  достигает значения, переводящего образец в состояние опасного отказа, крайне маловероятны).

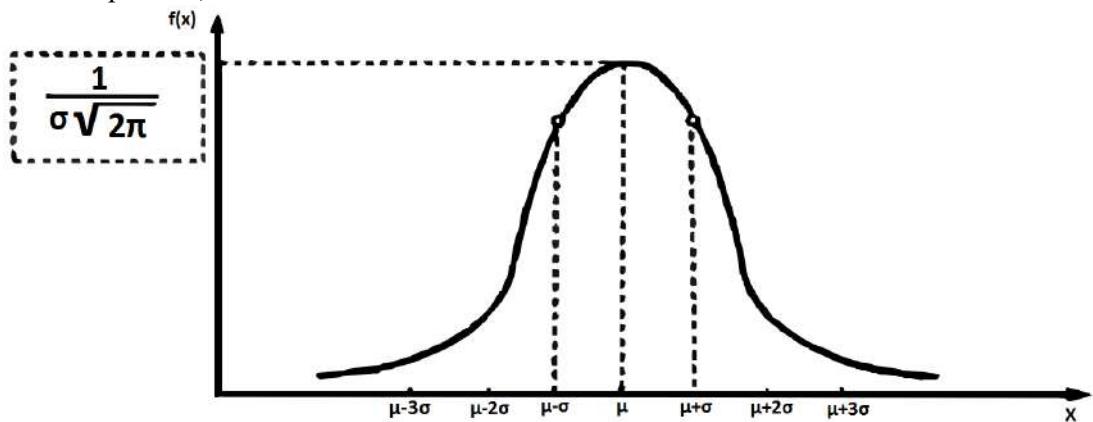


Рисунок 1 – График нормального распределения случайной величины

На рисунке 1 следует обратить внимание на следующие элементы:

$\mu$  — эталонное значение параметра, при котором механическое изделие находится в исправном состоянии;

$\Delta = 3\sigma$  — отклонение фактического значения параметра от эталонного, при котором с высокой вероятностью механическое изделие находится в исправном состоянии. При больших, чем  $\Delta$ , отклонениях изделие переходит в состояние опасного отказа (красная зона на рисунке 2).

Здесь следует акцентировать внимание на термин «опасный отказ» в отношении механического изделия. Опасным отказом считается событие, при котором параметр  $S$  достигает предельного значения  $S_{\text{гл}}$ , после которого может произойти нежелательное событие (от нарушений графика движения до аварийных ситуаций в виде схода, столкновений и т. п.) при реализации функций перевозочного процесса. Таким образом, граница между исправным и неисправным состоянием определяется не статистикой, а физикой процесса.

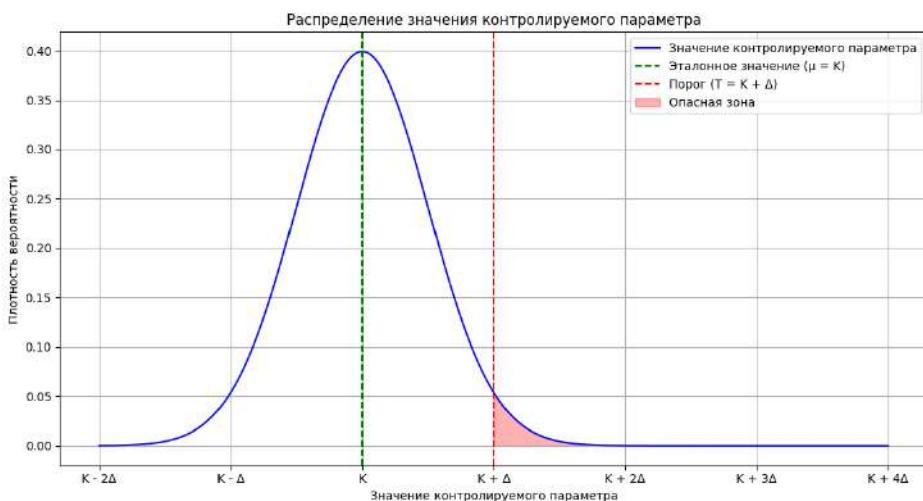


Рисунок 2 – Распределение фактического значения параметра при эталонном значении, равном  $K$

Теперь рассмотрим этап эксплуатации. Аналогично в процессе эксплуатации механического изделия из-за нагрузок, износа и условий окружающей среды накапливается дополнительный разброс, обусловленный случайной величиной — отклонением фактического значения параметра от требуемого. При условии независимости этих факторов результирующим отклонением фактического значения параметра от эталонного является

$$\sigma = \sqrt{\sigma_{\text{производство}}^2 + \sigma_{\text{эксплуатация}}^2}. \quad (1)$$

Для своевременного выявления постепенной деградации параметра в процессе эксплуатации используется диагностическое устройство (далее – ДУ). Поскольку отклонение фактического параметра от эталонного параметра и переход в опасную зону являются постепенным процессом, регулярный контроль позволяет обнаружить критическое отклонение и вовремя вывести изделие из эксплуатации. Наличие исправно функционирующего диагностического оборудования «преобразует» зону потенциально опасного состояния в зону «компенсации», где риск реализации отказа снижается за счет его раннего обнаружения (рисунок 3). При этом собственные неисправности ДУ не формируют самостоятельного дополнительного риска, так как они проявляются в области крайне маловероятных значений параметра (в «хвостах» распределения), где плотность вероятности возникновения отказа мала.

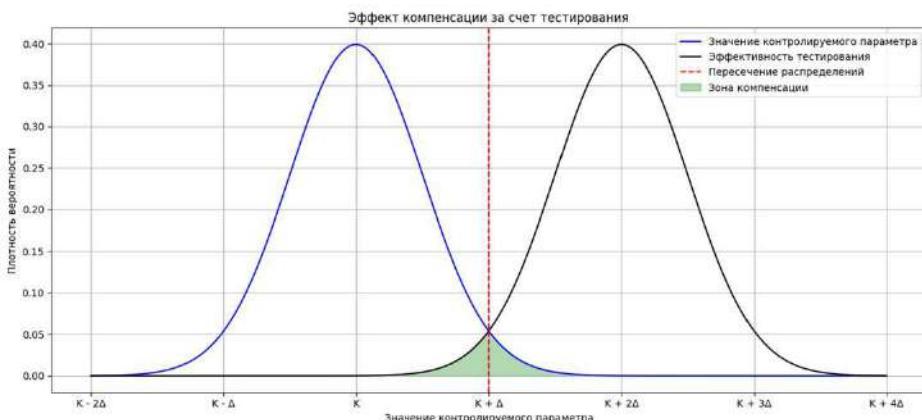


Рисунок 3 – Влияние диагностики на уменьшение последствий опасного отклонения фактического значения параметра от эталонного

#### Выводы:

1 Системы автоматики подвержены случайным отказам, которые можно моделировать с помощью простейших потоков отказов и вероятностных моделей (например, модели Маркова). Механические элементы также подвержены отказам, но они носят постепенный характер и зависят от качества производства и условий эксплуатации и технического обслуживания.

2 Отказом механического изделия считается такое отклонение значения его параметра от эталонного, которое приводит к нежелательным последствиям при организации перевозочного процесса. Эти аспекты приводят к тому, что отказы механических изделий имеют вероятностную природу, поэтому требуют расчета вероятностей возникновения опасных ситуаций и критериев оценки рисков.

3 Методы контроля. Контроль состояния механического изделия может осуществляться двумя методами: абсолютным – визуальный осмотр, вероятностным – автоматический контроль с учетом метрологических характеристик.

#### 4 Текущие задачи:

- унификация критериев оценки – номинальные параметры; допустимые отклонения; критические изменения; аварийные состояния;
- разработка прогнозных моделей;
- внедрение автоматизированных систем мониторинга;
- адаптация международного опыта.

УДК 625.8

## ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ СИСТЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ

*H. B. РЯЗАНЦЕВА, B. E. МИНИН, И. С. КУХАРЕНКО  
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

В современных условиях разработка программного обеспечения становится все более сложной и затратной. Растут требования к функциональности и масштабированию, увеличивается число интеграций с внешними сервисами, и ужесточаются критерии соответствия нормативам. В универси-