

очень актуально при формировании извещения от станционных устройств, особенно при манёвровой работе в зоне участка извещения. Это позволит не закрывать заградительные устройства на переезде, если маневровые работы не предусматривают пересечение переезда. Внедрение новых способов формирования извещения повысит пропускную способность автотранспорта, снизит нервозность водителей при пересечении переездов и вследствие этого снизит аварийность.

Список литературы

- 1 Системы железнодорожной автоматики, телемеханики и связи : учеб. : в 2 ч. Ч. 1 / А. В. Горелик [и др.] ; под ред. А. В. Горелика. – М. : Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте, 2012. – 272 с.
- 2 Белоголов, А. С. Анализ безопасности на железнодорожных переездах. / А. С. Белоголов, А. Е. Тарасова // Наука и образование транспорту. – 2015. – № 1. – С. 115–118.
- 3 Тарасов, Е. М. Анализ состояния безопасности движения и мероприятия по повышению безопасности на железнодорожных транспортных пересечениях / Е. М. Тарасов, Г. М. Третьяков, А. Г. Исайчева // Вестник транспорта Поволжья. – 2015. – № 5. – С. 85–90.
- 4 Бибиков, С. В. Алгоритмы и устройства системы оповещения о приближении поезда по виброакустическим колебаниям рельса : дис. ... канд. техн. наук : 05.13.01 / С. В. Бибиков. – СПб., 2015. – 160 с.
- 5 Радковский, С. А. Моделирование колебаний железнодорожного рельса при воздействии на него подвижной вертикальной динамической нагрузки / С. А. Радковский, А. М. Трунаев, В. Д. Пойманов // Сб. науч. тр. Донецкого института железнодорожного транспорта. – Донецк : ДонИЖТ, 2016. – Вып. 43. – С. 4–9.
- 6 Коган, А. Я. Колебания рельса при движении по нему переменной нагрузки / А. Я. Коган // Вестник ВНИЖТ. – 1968. – № 1. – С. 7–11.
- 7 Кудина, А. А. Анализ локомотивных систем безопасности, проблем эксплуатации и перспектив модернизации / А. А. Кудина, В. А. Кудиенко, А. А. Онищенко // Научно-техническое и экономическое сотрудничество стран АТР в XXI веке. – 2021. – Т. 1. – С. 188–193.

УДК 656.25

ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО ПОСТРОЕНИЯ ДЕРЕВА ОТКАЗОВ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ВЫПОЛНЕНИЯ *FMECA*-АНАЛИЗА УСТРОЙСТВ СЖАТ

С. Н. ХАРЛАП, Е. П. ЛИТВИНОВ

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Современные микроэлектронные системы железнодорожной автоматики и телемеханики (СЖАТ) в обязательном порядке проходят процедуру доказательства функциональной безопасности. Основным методом доказательства безопасности, рекомендованным стандартами, служит анализ видов, последствий и критичности отказов (*Failure Mode Effects and Criticality Analysis – FMECA*) [1].

FMECA анализ включает в себя этапы определения критериев отказов, видов отказов, их имитации в различных режимах работы, анализ последствий отказов и расчет вероятности возникновения опасных отказов [2]. Высокая сложность современных микроэлектронных устройств, большое количество элементов, значительное число имитируемых отказов превращает анализ видов, последствий и критичности отказов в сложную задачу, требующую высокой квалификации исполнителей. Кроме того, ярко выраженный рутинный характер анализа требует выполнения ряда мероприятий, направленных на снижение вероятности возникновения систематических ошибок, связанных с человеческим фактором. В то же время *FMECA*-анализ имеет четкую последовательность выполнения отдельных операций, что делает возможной автоматизацию его проведения.

Выполнение *FMECA*-анализа микроэлектронных систем принято разделять на следующие этапы:

1 Анализ документации и нормативных документов и формирование общих критериев опасных отказов для всей системы.

2 В случае высокой сложности микроэлектронной системы выполняется ее разбиение на функциональные блоки с дальнейшей трассировкой общих критериев опасных отказов для всей системы на уровень функциональных блоков с составлением критериев опасных отказов для каждого блока. Данный этап может выполняться несколько раз.

3 Моделирование отказов электронных компонентов каждого функционального блока.

4 Анализ последствий отказов электронных компонентов каждого функционального блока с использованием сформированных в п. 2 критериев с целью выявления отказов, которые могут привести к опасным отказам системы в целом.

5 Формирование общего дерева опасных отказов, в котором для каждого критерия опасного отказа системы в целом указаны все отказы электронных компонентов отдельных функциональных блоков из п. 4, которых соответствуют данным критериям.

6 На основе полученного дерева опасных отказов рассчитывается вероятность появления опасного отказа с учетом интенсивностей отказов электронных компонентов.

В настоящее время в научно-исследовательской лаборатории «Безопасность и ЭМС технических средств» ведутся работы по автоматизации проведения *FMECA*-анализа. Разработан программный комплекс, состоящий из компонентов *CircuitAnalyzer*, *FailureAnalyzer* и *FailureTreeBuilder*, который позволяет выполнить большую часть *FMECA*-анализа в рамках доказательства безопасности микроэлектронных систем ЖАТ.

Стоит отметить, что выполнение первых двух этапов всё ещё требует участия высококвалифицированных специалистов в области функциональной безопасности СЖАТ, ввиду невозможности переложить выполнение данных задач на роль программных средств.

Для решения задач третьего этапа разработана программа *CircuitAnalyzer* [3] из состава программного комплекса, которая выполняет автоматизированное моделирование отказов электронных компонентов каждого функционального блока.

Выполнение задач четвертого этапа ложится на программу *FailureAnalyzer* [4]. Данное программное обеспечение позволяет:

- загружать файлы с результатами работы программы *CircuitAnalyzer*;
- добавлять и удалять критерии опасных и защитных отказов, а также критерии диагностируемости отказов;
- выполнять настройки параметров анализа динамических сигналов;
- на основе введенных критериев выполнять анализ набора файлов с результатами выполненного программой *CircuitAnalyzer* моделирования отказов электронных компонентов исследуемого функционального блока, с целью выявить какие отказы соответствуют введенным критериям для выполнения предварительной классификации отказов;
- сохранять результаты анализа.

Результатом работы программы *FailureAnalyzer* является отчет в формате *.docx* с результатами анализа каждого файла и файл логгирования, используемый для дальнейшего построения дерева опасных отказов. В отчете с результатами анализа приводится классификация последствий отказа, т. е. отнесение отказа к одному из классов: опасный необнаруживаемый (*DU*), опасный обнаруживаемый (*DD*), защитный необнаруживаемый (*SU*), защитный обнаруживаемый (*SD*), не влияющий на безопасность (*NE*), не влияющий на функционирование, но вызывающий отказ функции диагностики (*AE*), неклассифицируемый (*NC*). Признак неклассифицируемого отказа выставляется в том случае, если программа не может отнести анализируемый отказ к одному из ранее определенных классов.

Выполнение пятого этапа реализует программа *FailureTreeBuilder* из состава программного комплекса. Данное программное обеспечение позволяет:

- загружать файлы логгирования с результатами анализа исследуемых функциональных блоков;
- вводить сформированное экспертное дерево опасных отказов с несколькими уровнями формализации:
 - неформализованные критерии опасного отказа всей системы;
 - неформализованные критерии опасного отказа функционального блока;
 - формализованные критерии отказа каждого функционального блока;
 - выполнять обработку данных и отображать под каждым формальным критерием файлы с результатами моделирования, где он был обнаружен, пример полученного дерева опасных отказов приведен на рисунке 1.
- осуществлять построение окончательного дерева опасных отказов, в котором отказы электронных компонентов объединены с помощью логических операций *AND* и *OR*.

```

main_or IsOrNode= True:IsLogic= True
--несанкционированный перевод стрелки(допущение через И) IsOrNode= False:IsLogic= True
----ложный сигнал об отсутствии тока IsOrNode= True:IsLogic= True
-----ac_cur_con1 IsOrNode= False:IsLogic= False:ИЛИ;0,12-0,35;in_ac_cur_cont;Периодический;Амплитуда(Пиковое значение);Выше значения;0;210
ac_current_control_@D1_K3_электродов.csv
ac_current_control_@D1_K3_электродов_@D2_K3_электродов.csv
ac_current_control_@D1_K3_электродов_@D2_Обрыв_одного_электрода.csv
ac_current_control_@D1_K3_электродов_@D2_Увеличение_напряжения_открытия.csv
ac_current_control_@D1_K3_электродов_@D2_Увеличение_прямого_сопротивления.csv

```

Рисунок 1 – Пример полученного дерева опасных отказов

В настоящее время ведется разработка программного модуля, который должен решать задачи шестого этапа *FMECA*-анализа:

- на основе полученного дерева опасных отказов выполнять расчет вероятности возникновения опасного отказа всей системы;
- формировать отчет с полученным деревом опасных отказов и численным расчетом.

Программный комплекс прошёл частичную первичную апробацию в научно-исследовательской лаборатории «Безопасность и ЭМС технических средств» Белорусского государственного университета транспорта. На данном этапе корректность его работы подтверждается результатами анализа, выполненного специалистами лаборатории.

Использование данного программного комплекса в рамках выполнения *FMECA*-анализа позволит за счет автоматизации частично освободить высококвалифицированных специалистов, выполняющих анализ, от рутинной работы и снизить риски человеческих ошибок. Также данный программный комплекс позволит значительно сократить время на выполнение анализа.

Список литературы

- 1 Харлап, С. Н. Обзор существующих средств автоматизации FMECA-анализа / С. Н. Харлап, В. Л. Катков, Е. П. Литвинов // Инновационное развитие транспортного и строительного комплексов : материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 70-летию БелИИЖТа–БелГУТа : в 2 ч. Ч. 1 / под общ. ред. Ю. И. Кулаженко – Гомель : БелГУТ, 2023. – С. 234–236.
- 2 Особенности методов анализа видов и последствий отказов устройств ЖАТ / С. Н. Харлап [и др.] // Проблемы безопасности на транспорте : материалы XII Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 160-летию Белорусской железной дороги, Гомель, 24–25 ноября 2022 года : в 2 ч. Ч. 1 / под общ. ред. Ю. И. Кулаженко. – Гомель : БелГУТ, 2022. – С. 227–230.
- 3 Харлап, С. Н. Программное обеспечение для проведения анализа FMECA микроэлектронных систем железнодорожной автоматики / С. Н. Харлап, В. Л. Катков // Проблемы безопасности на транспорте : материалы X Междунар. науч.-практ. конф.: в 5 ч. Ч. 1 / под общ. ред. Ю. И. Кулаженко. – Гомель : БелГУТ, 2020. – С. 43–44.
- 4 Харлап, С. Н. Программное обеспечение для автоматической классификации последствий отказов при проведении FMECA-анализа устройств СЖАТ / С. Н. Харлап, В. Л. Катков, Е. П. Литвинов // Научно-технические аспекты комплексного развития железнодорожного транспорта : материалы X Междунар. науч.-практ. конф. : в 2 ч. Ч. 1 – Донецк : ДИЖТ, 2024. – С. 140–145.

УДК 656.25

АВТОМАТИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ И ДИАГНОСТИКА СОСТОЯНИЯ ИЗОЛИРУЮЩИХ СТЫКОВ

В. И. ШАМАНОВ, Д. В. ДЕНЕЖКИН

Российский университет транспорта (МИИТ), г. Москва, Российская Федерация

Одной из наиболее характерных причин отказов рельсовых цепей (РЦ) является ухудшение или нарушение изоляции изолирующих стыков [1]. Эти отказы происходят из-за продавливания торцевой изоляции в жаркую погоду, разрушения боковой фибровой изоляции, продавливания втулок и шайб. Средняя наработка на отказ изолирующих стыков по перевезённым грузам составляет 25–35 миллионов тонн [1].

Несимметричное ухудшение состояния изолирующих стыков приводит к увеличению асимметрии тягового тока в рельсовых нитях, отчего растёт уровень помех от тягового тока на приёмники сигналов РЦ и автоматической локомотивной сигнализации (АЛС). В результате растёт количество сбоев в работе этой аппаратуры [2]. Симметричное ухудшение состояния изолирующих стыков