

ка светофильтра оказывает непосредственное влияние на результаты контроля подвижного состава, поэтому требует дополнительной настройки подсистемы.

Для оценки исправности и качества настройки теплового тракта и других узлов КНМ-05 автоматически производит процедуры самодиагностики и калибровки, камера информирует БУ об исправности и готовности производить измерения, а КНМ-90 производит процедуру автоконтроля, в процессе которой заслонка НК перемещается из положения «закрыто» в положение «контроль» и обратно. Значения сигналов, полученных в результате автоконтроля, передаются в БУ, и через БК в АРМ ЛПК для оценки исправности и качества настройки теплового тракта НК. Если значения сигналов автоконтроля не удовлетворяют заданным параметрам, выполняется процедура автоматической коррекции чувствительности теплового тракта.

Технические характеристики подсистем приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Технические характеристики подсистем

Параметр	КТСМ-03Б-90	КТСМ-03Б
Диапазон скоростей контролируемых подвижных единиц, км/ч	От 0 до 350	От 5 до 250
Количество каналов считывания теплового излучения	2	2
Абсолютная погрешностью измерения температуры букс	Не более $\pm 2$ °С	Не более $\pm 4$ °С
Обогрев НК в зимний период	Нет	Да
Безынерционный контроль на высокоскоростных участках	Да	Нет
Ориентация НК к оси пути, град	90	55
Напряжение питания блоков, В	24	24
Мощность, потребляемая одной подсистемой в зимний период, В·А	Не более 140	Не более 650

Как видно из таблицы 1, подсистема КТСМ-03Б значительно проигрывает в экономии по электропитанию подсистеме КТСМ-03Б-90, за счет применения в НК КНМ-90 безынерционного с пассивным охлаждением приемника ИК-излучения фотонного типа на базе сплава PbSe.

Анализируя принцип работы подсистем, можно сделать вывод, что он практически одинаковый, но новые напольные камеры обладают улучшенными характеристиками по сравнению со старыми.

Поэтому при модернизации КТСМ-02 на КТСМ-03 целесообразнее ставить подкомплект КТСМ-03Б за счет сохранения старой напольной камеры, что экономически выгоднее, а при проектировании новой системы необходимо устанавливать подкомплект КТСМ-03Б-90.

#### Список литературы

- 1 Комплекс технических средств многофункциональный КТСМ-03. Руководство по эксплуатации ИН7.460.200.000 РЭ, 2018. –108 с.
- 2 Комплекс технических средств многофункциональный КТСМ-03. Подсистема контроля состояния букс КТСМ-03Б ИН7.460.300, 2018. – 32 с.
- 3 Комплекс технических средств многофункциональный КТСМ-03. Подсистема контроля состояния букс КТСМ-03Б-90 ИН7.460.400.000 РЭ, 2018. – 27 с.

УДК 656.26

## ОСОБЕННОСТИ МЕТОДОВ АНАЛИЗА ВИДОВ И ПОСЛЕДСТВИЙ ОТКАЗОВ УСТРОЙСТВ ЖАТ

*С. Н. ХАРЛАП, Д. Д. МЕДВЕДЕВ, С. И. ХОМЕНКО, И. О. ЖИГАЛИН,  
В. Л. КАТКОВ, И. В. ЛОГВИНЕНКО*  
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Для анализа систем обеспечения безопасности, в частности систем ЖАТ, используются различные методы. Наиболее систематизированным и широко используемым является метод FMEA (FMEA – Failure Mode and Effects Analysis, анализ видов и последствий отказов).

Анализ видов и последствий отказов (FMEA) направлен на выявление способов отказа объектов или процессов и способов предотвращения таких отказов в дальнейшем. FMEA представляет собой систематизированный метод идентификации видов отказов и их последствий для объекта или процесса на локальном и глобальном уровне. Этот метод может включать в себя определение причин отказов. На данный момент FMEA выполняется в соответствии с новым стандартом ГОСТ Р 27.303-2021 [1], более детально описывающий методы FMESA и FMEDA.

Виды отказов могут быть ранжированы для использования при принятии решений об их устранении. Если ранжирование отказов включает в себя определение и учет значимости и других важных показателей последствий отказов, то анализ называют анализом видов, последствий и критичности отказов (FMESA). При добавлении дополнительного уровня детализации выделяют и так называемый анализ видов, последствий и диагностики отказов (FMEDA).

FMEA, FMESA и FMEDA используют общие базовые понятия компонентов, устройств и их компоновки (взаимодействия) при формировании системы. Система, реализующая функции обеспечения безопасности (Safety Instrumented Function, SIF) состоит из нескольких устройств, которые должны обеспечить выполнение необходимой операции по её защите от последствий отказа, сбоя. Примерами устройств с SIF могут служить блок включения безопасного реле ЖАТ, блок включения огней светофора, блок управления переводом стрелки и др.

Каждое устройство может состоять из компонентов. Например, блок включения реле ЖАТ может состоять из таких компонентов, как микропроцессорный модуль, логический узел безопасной коммутации, схема проверки выходного сигнала и т.д. Каждый компонент при анализе может быть рассмотрен как функциональный блок или как набор элементов. При рассмотрении компонента как функционального блока упрощается анализ, но могут возникнуть сложности при определении количественных показателей. Также результат анализа по блокам дает завышенную интенсивность отказов.

Например, микроконтроллерный блок (МК) – это комплекс устройств, который совокупно можно рассматривать в качестве конечного элемента безопасности. Такая система, как правило, реализуется на основе нескольких МК, построенных на основе требований к программному и аппаратному диверситету [4–6] (СТБ ИЕС 61508-2-2014 [2], ГОСТ Р МЭК 62279-2016 [3]).

Методика анализа, лежащая в основе FMEA, FMESA и FMEDA, может применяться на всех этапах жизненного цикла системы. Базовая методология рассматривает и анализирует виды отказов каждого компонента, являющегося частью каждого устройства, для оценки интенсивности опасного отказа системы. В случаях выполнения FMEA для устройства в дополнение к идентификации видов и последствий отказов может быть разработана его блок-схема (диаграмма) надёжности для оценки взаимодействия компонентов между собой (ГОСТ Р МЭК 61078-2021).

Входные данные, результаты и оценки результатов выполнения FMEA, FMESA, FMEDA схематично показаны на рисунке 1.

Результаты выполнения анализа FMESA включают результаты FMEA, а также ранжирование всех видов и последствий отказов. Это ранжирование используется для определения компонентов (или устройств) с более высокой степенью влияния на надёжность целевой системы, характеризуемую такими показателями безопасности, как средняя вероятность отказа по требованию (PFDavg), средняя частота опасного отказа (PFHavg), среднее время наработки на отказ (MTTFs) или среднее время до опасного отказа (MTTFd) [7]. Результаты используются для качественной или количественной оценки, и в обоих случаях они должны быть представлены матрицей критичности системы, показывающей в графическом виде, какие компоненты (или устройства) оказывают влияние на надёжность системы.

Результаты FMEDA включают результаты FMEA и данные о надёжности системы. Они могут использоваться для проверки соответствия системы целевому уровню SIL (Safety Integrity Level – уровень полноты безопасности), сертификации SIL или в качестве основания при расчете целевого SIL устройства SIF.

Необходимость моделировать автоматическую диагностику интеллектуальных устройств возникла, когда появилась новая архитектура на рынке контроллеров безопасности под названием «один из двух» с диагностическим выключателем (1oo2D). Поскольку безопасность и готовность новой архитектуры сильно зависели от реализации диагностики, ее количественная оценка стала важным процессом. В FMEDA это реализуется благодаря добавлению дополнительных колонок, показывающих частоту возникновения различных типов отказов и колонку с вероятностью обнаружения для каждой строки анализа.

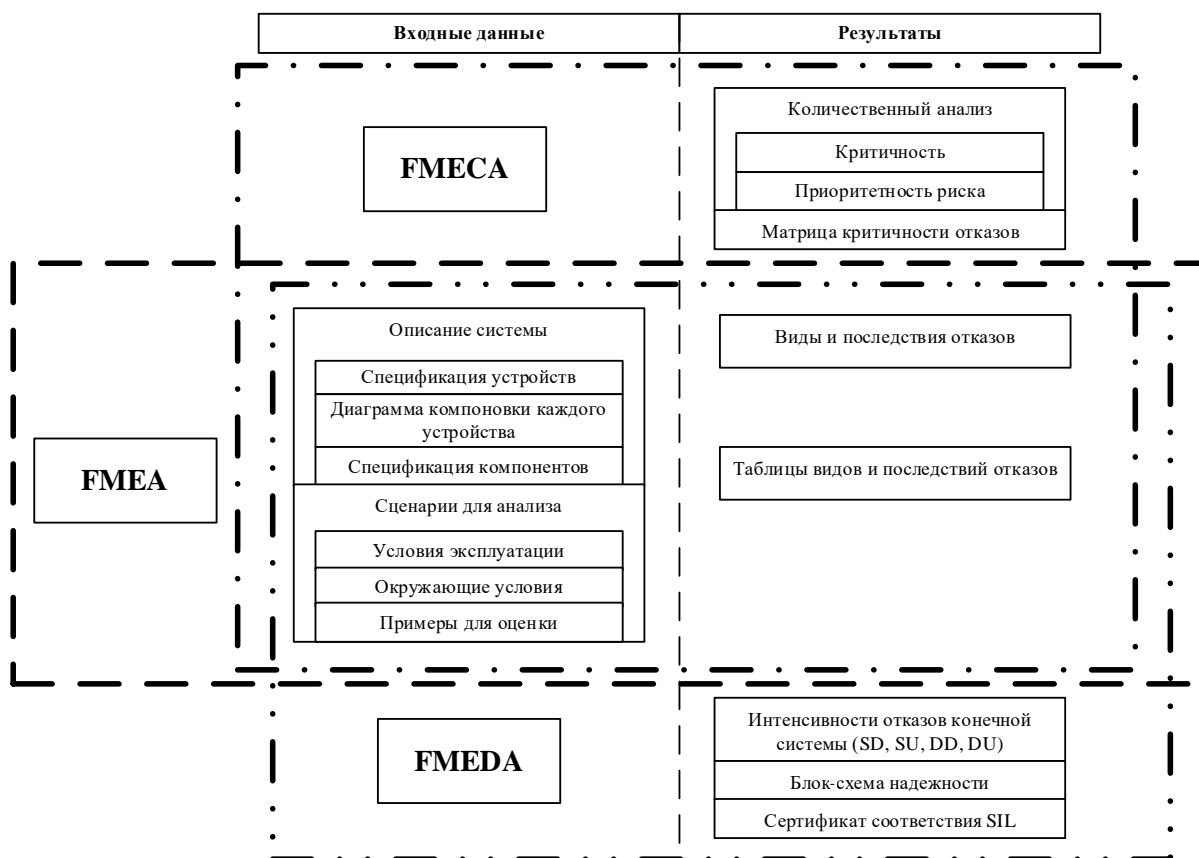


Рисунок 1 – Входные данные и результаты FME-анализов

Общий подход определяет следующие основные шаги FME-анализа:

- определение структуры системы;
- определение критериев опасных, защитных и маскируемых отказов;
- оценка последствий одиночных отказов;
- оценка последствий возможных комбинаций отказов;
- оценка результатов FMEA (в т. ч. FMECA, FMEDA).

Применение к результатам анализа видов и последствий отказов (FMEA) методики FMECA даёт возможность оценки связанных с отказами рисков, а методика FMEDA – возможность оценки надёжности.

Для каждого простого устройства разрабатывается таблица FME, которая затем применяется для каждого определённого сценария выполнения анализа. Структура таблицы FME может варьироваться для FMEA, FMECA или FMEDA, а также в зависимости от типа анализируемой системы.

Результатом выполнения анализа видов и последствий отказов является отчет, содержащий все выверенные (при необходимости, скорректированные рабочей группой экспертов) FME-таблицы и выводы / суждения / решения, касающиеся системы. Если после выполнения FMEA система модифицируется, процедуру FMEA необходимо выполнить повторно.

В таблицу FMEDA добавляются колонки, в которых перечисляются все варианты отказов системы, вероятность того, что диагностика позволит обнаружить конкретный отказ, а также, количественную оценку вероятности возникновения этого отказа. Когда анализ FMEDA завершается, вычисляется фактор «диагностического покрытия» на основе показателя частоты отказов, средневзвешенном относительно диагностического покрытия всех компонентов.

Показатели частоты отказов и распределения отказов необходимо иметь для каждого компонента, если есть необходимость провести анализ FMEDA. Поэтому требуется база данных компонентов. В базе данных компонентов должны быть учтены ключевые переменные, влияющие на уровень отказов компонентов.

Основные шаги при выполнении FME-анализа, в целом, одинаковы для FMEA, FMECA и FMEDA, но оценка и результаты различаются. Сравнение описанных методов позволяет сделать вывод:

- FMEA, представляет собой структурированный качественный анализ системы для выявления потенциальных отказов, их причин и влияния на работу системы;
- FMESA, используя результаты FMEA, позволяет выполнить классифицировать последствия отказов по качественным признакам (критериям);
- FMEDA позволяет получить количественные данные об отказах (частота отказов и распределение видов отказов) для всех анализируемых компонентов и возможность выявления отказов с помощью диагностики.

От применяемого метода зависит сложность исследования и требуемый объем исходных данных, поэтому при выборе метода необходимо руководствоваться текущими целями анализа на данном этапе жизненного цикла системы.

Стандарт ГОСТ Р 27.303–2021 [1] предполагает возможность модифицировать FMEA под конкретные задачи, не ограничиваясь FMEA, FMESA и FMEDA путем добавления новых критериев (например, можно скомбинировать FMESA и FMEDA).

#### Список литературы

- 1 ГОСТ Р 27.303–2021 (МЭК 60812:2018). Надежность в технике. Анализ видов и последствий отказов. – Введ. 2021–09–21. – М. : РСТ, 2021. – 65 с.
- 2 СТБ ІЕС 61508-2-2014. Функціональна безпека електричних, електронних, програмуємих електронних систем, що стосуються безпеки. Ч. 2. Вимоги до електричних, електронних, програмуємих електронних систем, що стосуються безпеки = Функціональна безпека електричних, електронних, програмуємих електронних систем, які адносяцца да бяспекі. Ч. 2. Патрабаванні да електричных, електронных, праграмуємих електронных сістэм, які адносяцца да бяспекі. – Введ. впершыя ; введ. РБ 2014–11–11. – Минск : Беларус. гос. ін-т стандартизацыі і сертыфікацыі, 2014. – 93 с.
- 3 ГОСТ ІЕС 62279–2019. Железные дороги. Системы связи, сигнализации обработки данных. Программное обеспечение систем управления и защиты на железной дороге = Чыгункі. сістэмы сувязі, сігналацыі і апрацоўкі даных. Праграмае забеспячэнне сістэм кіравання і аховы на чыгунцы. – Введ. впершыя ; введ. РБ 2021–03–15. – Минск : Беларус. гос. ін-т стандартизацыі і сертыфікацыі, 2014. – 108 с.
- 4 Бочков, К. А. Разработка отказоустойчивых систем на основе диверситетных аксиоматических базисов / К. А. Бочков, С. Н. Харлап, Б. В. Сивко // Автоматика на транспорте. – 2016. – Т. 2, № 1. – С. 47–64.
- 5 Харлап, С. Н. Оценка независимости отказов в диверситетном программном обеспечении с помощью EI-модели / С. Н. Харлап, А. Ю. Кулаженко // Проблемы безопасности на транспорте : материалы XI Междунар. науч.-практ. конф. В 2 ч., Гомель, 25–26 ноября 2021 года. – Гомель : БелГУТ, 2021. – С. 203–204.
- 6 Харлап, С. Н. Применение диверситета в автоматизированных системах управления опасными технологическими процессами для повышения устойчивости к систематическим отказам / С. Н. Харлап // Известия Транссиба. – 2020. – № 3 (43). – С. 148–157.
- 7 Харлап, С. Н. Автоматизация проведения анализа FMESA микроэлектронных систем железнодорожной автоматики / С. Н. Харлап, В. Л. Катков // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2020. – № 2 (41). – С. 17–19.

УДК 656.25

## РАСЧЁТНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СХЕМЫ РЕЛЬСОВЫХ ЛИНИЙ

*В. И. ШАМАНОВ, Д. В. ДЕНЕЖКИН*

*Российский университет транспорта (МИИТ), г. Москва*

В системах интервального регулирования движения поездов рельсовые линии используются как линии электрической связи, по которым передаются сигнальные токи для приёмников рельсовых цепей (РЦ) и автоматической локомотивной сигнализации (АЛС). Однако на электрифицированных железных дорогах по рельсовым линиям пропускаются и тяговые токи, величина которых может превышать сигнальные токи на два порядка и более. Поэтому возникает проблема существенного уменьшения влияния тяговых токов на устойчивость работы аппаратуры РЦ и АЛС.

Для определения условий, обеспечивающих устойчивую работу приёмников РЦ и АЛС, достаточно знать величины сигнальных токов в этих приёмниках и сигнальных напряжений на питающих концах отрезков рельсовых линий, обеспечивающих эти токи. Поэтому на расчётной схеме указываются пути протекания сигнальных токов с длинами всех участков отрезка рельсовой линии, оборудованного РЦ, величины продольного и поперечного сопротивления этих участков. Сигнальный ток по отрезкам рельсовой линии между источником и приёмником тока течёт в противоположных направлениях, поэтому влияние взаимной индуктивности учитывают только при расчётах работы РЦ в контрольном режиме [1]. Учитывается, что рельсовая линия обладает распределёнными параметрами и при расчетах РЦ она представляется пассивным четырёхполюсником типа А [2].