

$$\lambda_0 = \sum_1^N \lambda_i.$$

Рассмотренный пример показывает, что:

1 Методы расчета показателей безопасности по EN и ГОСТ различны.

2 Интенсивность опасных отказов системы в целом, полученная по ГОСТ, зависит только от количества используемого оборудования и их показателей безопасности и не зависит от распределения функций безопасности между этим оборудованием. Интенсивность опасных отказов системы в целом, полученная по EN, дополнительно зависит от распределения функций безопасности между блоками.

3 Интенсивность опасных отказов системы в целом, полученная по ГОСТ при использовании приведенных показателей «на железнодорожную станцию» и «на перегон», всегда не меньше, чем интенсивность опасных отказов системы в целом, полученная по EN. То есть

$$\lambda_{0\text{EN}} \leq \lambda_{0\text{ГОСТ}}.$$

В этом случае, если принять, что в нормативных документах будут установлены одинаковые требования к системе по интенсивности опасных отказов, то система, соответствующая требованиям по ГОСТ, всегда будет соответствовать EN, а вот для системы, соответствующей требованиям по EN, потребуется делать дополнительный расчет для подтверждения соответствия ГОСТ.

Однако следует учесть, что показатель «интенсивность опасных отказов в час на железнодорожную станцию (при числе стрелок до 22 включительно)» в ГОСТ 33894–2016 имеет значение менее 10^{-7} 1/ч на станцию, в то время как для уровня полноты безопасности SIL4, к которому относят системы железнодорожной автоматики, он составляет менее 10^{-8} 1/ч на одну функцию. Поэтому для принятия решения о соответствии недостаточен сам факт соответствия ГОСТ, необходимо дополнительно анализировать результаты расчета показателей и их точные значения.

При использовании приведенных показателей «на стрелку» и «на километр перегона», очевидной зависимости между показателями нет, поэтому в обязательном порядке должен выполняться расчет показателей функциональной безопасности по соответствующей методике.

УДК 656.25

ОБЗОР ЛОКОМОТИВНЫХ УСТРОЙСТВ ОБНАРУЖЕНИЯ ПРЕПЯТСТВИЙ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ПУТЯХ

С. Н. ХАРЛАП

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Р. И. ЗАНЬКО

Государственное предприятие Институт Белжелездорпроект, г. Гомель, Республика Беларусь

Одним из перспективных направлений развития железнодорожного транспорта является внедрение беспилотных технологий управления. В соответствии со стандартом МЭК-62290-1 железнодорожный транспорт имеет четыре степени автоматизации:

- 1) ведение машинистом;
- 2) ведение машинистом с функцией автоведения;
- 3) автоведение без машиниста;
- 4) полностью беспилотное.

Третий и четвертый уровень автоматизации в обязательном порядке требует внедрения системы технического зрения. Для этих систем одной из важнейших функций, связанной с безопасностью движения, является функция обнаружения препятствий на железнодорожных путях.

В настоящий момент проекты по достижению уровней 3 и 4 реализуют ведущие компании мира, такие как *Siemens, Alstom, Thales, SNCF, SBB* и другие. Рассмотрим основные подходы, применяемые различными компаниями для решения этой задачи.

SIRIO-OD – итальянская автоматическая система, предотвращающая столкновения и обнаруживающая препятствия, преграждающие движение поездов в зонах повышенного риска. Принцип работы основан на отражении сигнала от препятствующих объектов. Работает при установке от двух до четырех радиолокационных датчиков (*RSR radar*), независимо подключённых к системе сигнала.

лизации и одного внешнего шкафа. Из положительных качеств данной системы стоит подчеркнуть эффективную работу в сложных погодных условиях, предотвращение столкновений поездов, движущихся на высоких скоростях (до 350 км/ч), а также низкие затраты на обслуживание. Недостатками являются: минимальное обнаруживаемое препятствие не должно быть меньше сферы диаметром 60 см и статичность системы в целом.

Спроектированы сербскими (в рамках проекта *SMART*) и шведскими (кафедрой электротехники Липчепингского университета) разработчиками системы обнаружения препятствий на основе тепловизионных камер. Камера такого типа была выбрана по причине независимости её от освещения и работоспособности в полной темноте. Её устанавливают на локомотиве в защитном корпусе. Изображения подаются в компьютер и обрабатываются искусственным интеллектом, после чего подаются на монитор, установленный в локомотиве, рядом с машинистом. В случае обнаружения опасности, система извещает машиниста сигналом тревоги. Преимуществом системы является возможность работать в любое время суток и возможное распознавание аномалий на расстоянии до километра. Недостатком можно обозначить низкое разрешение подобных камер, из-за чего дальность распознавания препятствий может быть недостаточной для полной остановки поезда.

Main Line System – система, разработанная израильской компанией *Rail Vision*. Представлена чувствительными датчиками изображения с искусственным интеллектом. В отличие от предыдущего проекта, вместо одной термокамеры установлен электрооптический блок, содержащий в себе три камеры разных типов (мультиспектральная камера, термокамера и камера ночного видения), что позволяет распознавать препятствия на более дальнем расстоянии (до 2000 м – автомобили, 1500 м – люди). Также система способна различать сигнализацию и состояние стрелочных переводов (до 350 м). При обнаружении опасности извещения получает не только машинист, но и диспетчер. Плюсами данной системы являются дальность действия и возможность работать в любых погодных и световых условиях.

SMART – европейская система, разработанная тремя странами: Германией, Болгарией и Сербией. Она является мультисенсорной, в её состав входят различные технологии распознавания препятствий: две пары стереокамер, тепловизионная камера, камера ночного видения (с усилителем изображения) и лидаром (англ. *LIDAR* расшифровывается как «*Light Identification Detection and Ranging*» – дословно, система световой идентификации, обнаружения и определения дальности). Такое количество устройств обусловлено их слабыми сторонами по отдельности, за счёт их объединения недостатки одних заменяются преимуществами других. Но это значительно увеличивает цену на систему и её обслуживание. *SMART* рассчитана на обнаружение препятствий на средней (200 м) и дальней (1000 м) в любое время эксплуатации и при условиях плохой видимости.

Компания ОАО «РЖД» также ведет разработку беспилотных железнодорожных транспортных средств. Так, на станции Лужской в 2015 году стартовал проект по автоматизации движения трех маневровых локомотивов, где интегратором проекта и разработчиком базовых технологий выступил АО «НИИАС». Совместно с АО «НИИАС» участвуют такие компании, как:

- АО «ВНИКТИ» в части разработки бортовой системы управления;
- Siemens – в части автоматизации работы сортировочной горки (система *MSR-32*) и автоматизации выполнения операции надвига вагонов;
- АО «Радиоавионика» в части систем микропроцессорной централизации, управляющей стрелками, светофорами;
- ПКБ ЦТ – создание симулятора;
- ОАО «РЖД» в роли координатора проекта.

Обнаружение препятствий осуществляется несколькими способами на основе лидарных данных и данных стереозрения, обрабатываемых в режиме реального времени с помощью нейронных сетей. Одним из основных источников данных являются лидары, выдающие облако точек от лазерного сканирования. В алгоритмах, находящихся в эксплуатации, преимущественно используются классические алгоритмы кластеризации данных. В настоящее время в рамках исследований проверяется эффективность применения нейронных сетей для задачи кластеризации лидарных точек, а также для совместной обработки лидарных данных и данных с видеокамер. Часть испытаний и проверки алгоритмов проводится с использованием железнодорожного симулятора.

По результатам обзора можно сделать вывод о том, что системы обнаружения препятствий на железнодорожных путях могут быть полезны уже сейчас при ведении поезда машинистом в темное время суток и при ограничении обзора погодными условиями. Использование подобных устройств обнаружения может значительно сократить число аварийных ситуаций и их экономические последствия. Системы можно использовать как помощник машинисту, а в будущем как часть автономной системы управления поездом. На основе зарубежного опыта возможно создание собственной системы обнаружения препятствий или разработка общей системы с ближайшими географическими соседями.

УДК 656.25

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ АНАЛИЗА FMECA МИКРОЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ АВТОМАТИКИ

С. Н. ХАРЛАП, В. Л. КАТКОВ

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

В настоящее время на железных дорогах Республики Беларусь и Российской Федерации широко внедряются микроэлектронные системы и устройства железнодорожной автоматики, связанные с обеспечением безопасности движения поездов. В соответствии с требованиями технического регламента Таможенного союза ТР ТС 003/2011 для таких систем разработчик обязан выполнить ряд мероприятий по подтверждению функциональной безопасности, результатом которых является документ «Доказательство безопасности». Основным методом доказательства, рекомендованным стандартами, служит анализ видов, последствий и критичности отказов (*Failure Mode, Effects and Criticality Analysis – FMECA*).

Анализ *FMECA* выполняется в следующем порядке:

- 1) изучение документации, определение критериев опасных отказов;
- 2) определение видов отказов в соответствии с рекомендациями нормативных документов;
- 3) последовательная имитация отказов элементов;
- 4) определение последствий и критичности отказов в соответствии с установленными критериями;
- 5) анализ возможности накопления отказов, влияние отказов по общей причине и множественных отказов.

На первом этапе выполняется анализ технической документации (технических требований, архитектуры, принципиальных схем, функционального описания и др.) Особое внимание уделяется четкой и однозначной формулировке критериев опасных и защитных отказов, методам и критериям обнаружения отказов, а также возможности парирования последствий отказов.

После изучения архитектуры и принципиальных схем определяются виды отказов. Для элементов систем железнодорожной автоматики перечень видов отказов компонентов аппаратных средств определен стандартом СТБ *IEC 62425-2011* «Железные дороги. Системы связи, сигнализации и обработки данных. Электронные системы сигнализации, связанные с безопасностью», приложение С. Существует возможность исключения некоторых видов отказов из анализа в зависимости от физических свойств компонента или технологии его изготовления. Результатом этого этапа является перечень видов отказов, которые должны учитываться при выполнении анализа *FMECA*.

На следующих этапах для каждого компонента последовательно выполняется имитация всех отказов из перечня видов отказов и определяются последствия и критичность каждого одиночного отказа, а также возможность накопления отказов и влияние отказов по общей причине. Данная процедура может быть выполнена следующими способами:

- экспертной оценкой последствий отказов без выполнения имитации;
- выполнение физического макетирования отказа с помощью специальных коммутирующих устройств, позволяющих имитировать обрывы компонентов размыканием соответствующих цепей, а короткие замыкания компонентов – замыканием определенных узлов на плате;
- внесение отказов в компьютерную имитационную модель устройства.

Каждый из рассмотренных выше способов имеет свои ограничения. Для проведения экспертной оценки последствий отказов без выполнения имитации необходимо привлечение высококвалифицированных экспертов. В этом случае устройство должно быть достаточно простым, чтобы эксперт мог с высокой достоверностью спрогнозировать поведение схемы при отказе. При увеличении сложности схемы достоверность результатов снижается, что требует применения других методов анализа.