

## АНАЛИЗ СТРАТЕГИЙ НОРМИРОВАНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В СТАНДАРТАХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ АВТОМАТИКИ

*В. Ф. КУСТОВ*

*Украинский государственный университет железнодорожного транспорта, г. Харьков*

Для нормирования и обеспечения показателей функциональной безопасности систем железнодорожной автоматики (СЖА) используются две основные стратегии:

– стратегия 1. Регламентация допустимой вероятности опасных отказов в час или интенсивности опасных отказов в расчете на одну функцию безопасности для уровней полноты безопасности SIL1–SIL4. Эта стратегия применяется в ряде международных и европейских стандартов для электронных, электротехнических и программируемых систем, связанных с безопасностью [1–2]. При этом исторически сложился приоритет политехнических стандартов и их использование для нормирования функциональной безопасности систем железнодорожной автоматики в европейских стандартах CENELEC [2];

– стратегия 2. Регламентация допустимой интенсивности опасных отказов на систему в целом или условный измеритель, например, на малую или крупную железнодорожную станцию, систему путевой блокировки, 1 км протяженности линии, 1 переезд и т. п. Эта стратегия применяется в ряде межгосударственных стандартов для основных систем ЖАТ [3–5].

В соответствии со стратегией № 1 определяется вероятность отказа одной функции безопасности за один час в расчете на одну функцию безопасности в течение предполагаемого периода работы (срока службы) и полученное значение делится на продолжительность этого периода [2]. Основными недостатками такой стратегии является следующее:

– усреднение вероятности опасного отказа может привести к тому, что вероятность опасного отказа системы в различные отдельные часы эксплуатации может быть значительно больше допустимых средних значений. Например, в начале эксплуатации, когда процессы старения и износа еще незначительны, эта вероятность может быть близкой к нулю, но в конце срока службы она может быть существенно и недопустимо больше, при этом за счет усреднения норматива требование стандарта по функциональной безопасности будет выполнено. С другой стороны, в конце срока службы, за счет плановой или unplanned замены аппаратных и программных средств она может быть ниже, чем в периоды эксплуатации до такой замены. Это позволит пропустить всплески нарушения безопасности в некоторых промежутках времени из-за старения элементов систем ЖАТ перед их заменой. Таким образом, необходимо определять вероятность опасного отказа системы за любой (каждый) час срока службы системы с учетом плановой или unplanned замены отдельных устройств, для чего необходимо оценивать наличие периодов эксплуатации систем с наименьшей функциональной безопасностью;

– при большом числе функций безопасности требования по безопасности к системе снижаются пропорционально их числу, т. к. невыполнение любой функции безопасности приводит к опасному состоянию всей системы в целом. В соответствии с этой стратегией при увеличении числа ответственных функций (логических зависимостей, проверок и т. п.) будут снижены допустимые требования по безопасности для систем электрической централизации (ЭЦ) даже для одинаковых станций, в которых будет большее количество проверяемых функций безопасности, что очевидно неверно. Для систем ЭЦ более крупных станций число ответственных функций будет еще больше и нормативные требования будут снижаться еще существеннее, что также неверно, тем более, что такие системы ЭЦ часто могут находиться в больших городах с высокой плотностью зданий и сооружений, с наличием в районе возможной катастрофы (из-за опасного отказа системы ЭЦ) большого количества людей и значительных материальных ценностей;

– объективное требование Заказчиков увеличения срока службы систем и устройств ЖАТ может привести к снижению их функциональной безопасности, особенно в конце срока службы (при выполнении требуемых нормативных уровней ФБ), так как допустимая вероятность опасного отказа будет прямо пропорционально зависеть от уровня SIL1–SIL4) и времени эксплуатации (срока службы).

В соответствии со стратегий 2 отдельные стандарты, например, межгосударственные стандарты для систем ЖАТ, нормируют интенсивность опасных отказов на систему в целом или условный измеритель, например, на малую или крупную железнодорожную станцию, систему путевой блокировки, 1 км протяженности линии, 1 переезд и т. п. [5–7].

Необходимо отметить, что требования ФБ должны быть связаны не с количеством стрелок на станции или с протяженностью линий автоблокировки, а с возможными уровнями последствий от опасного отказа систем ЖАТ. Требования ФБ (уровни SIL) необходимо устанавливать в стандартах и определять на этапе разработки Технического задания на проектирование конкретной системы ЖАТ и учитывать возможный риск нанесения ущерба с учетом различных факторов (возможного внедрения в будущем скоростного пассажирского движения поездов, расположения в районе управления систем ж. д. автоматики опасных объектов, которые могут увеличить ущерб при аварии поезда, возможных последствий от катастроф поездов с опасными грузами и т. п.). В качестве примера можно привести уровни последствий от железнодорожной катастрофы на ст. Арзамас-1б, столкновения двух высокоскоростных поездов в китайской провинции «Вэнчжоу» и других значительных железнодорожных аварий. В качестве некорректного нормирования безопасности для привлечения пассажиров в авиации иногда оценивают безопасность полетов в расчете на 1 тыс. км перелета, что неверно, т. к. вероятность нанесения физического ущерба человеку при преодолении одинакового достаточно большого расстояния при поездке на велосипеде может быть даже больше, чем при перелете на самолете.

В статье приведены результаты расчетов функциональной безопасности систем ЖАТ по межгосударственным стандартам и их анализ:

– для систем автоматической блокировки: на железнодорожных перегонах принимается допустимая интенсивность опасных отказов  $10^{-9}$  1/ч в расчете на один километр длины перегона [3]. Тогда допустимая вероятность опасных отказов на 1 тыс. км автоблокировки за 20 лет эксплуатации ориентировочно составит величину 0,2 или на каждом участке железных дорог протяженностью 5 тыс. км будет допускаться один опасный отказ системы и возможная авария или катастрофа;

– автоматической переездной сигнализации: допустимая интенсивность опасных отказов  $10^{-8}$  1/ч в расчете на один переезд [4]. Тогда, например, для эксплуатируемых на железных дорогах РФ 11 тыс. переездов за 20 лет службы будет допускаться 20 опасных отказов или один опасный отказ на каждые 500 переездов;

– станционных систем железнодорожной автоматики: допустимая интенсивность опасных отказов  $10^{-7}$  1/ч в расчете на одну железнодорожную станцию до 22 стрелок и  $10^{-9}$  1/ч для станций с числом централизованных стрелок более 22 [5]. С учетом статистических данных по эксплуатационной интенсивности опасных отказов реле 1-го класса надежности [6] требования указанного стандарта для станций с числом централизованных стрелок более 22 будут удовлетворять только системы ЭЦ с количеством реле 1-го класса не более 78 шт., т. е. все релейные системы ЭЦ для средних и крупных станций не будут удовлетворять требованиям стандарта. При этом необходимо отметить что реле 1-го класса обеспечивают безопасность только для объектов ЖАТ, у которых опасный отказ наступает при несанкционированном появлении сигнала, поэтому для обеспечения требований стандарта [5] в релейных системах ЭЦ необходимо дополнительно доказывать безопасность для объектов, у которых опасный отказ появляется при несанкционированном пропадании сигнала.

Проведенные исследования и практический опыт внедрения многих микропроцессорных устройств и систем ЖАТ позволяет сделать вывод о возможности применения новой стратегии нормирования для перспективных микроэлектронных устройств и систем ЖАТ. В соответствии с ней обоснование расчетных допустимых норм функциональной безопасности базируется на допускаемой вероятности появления менее одного опасного отказа для устройств или систем ЖАТ в течение определенного срока эксплуатации [6]. На основании разработанных нормативов определяется допустимая наработка до опасного отказа 1-го канала резервирования при обеспечении необходимой достоверности контроля или диагностики опасного отказа в каждом канале резервирования системы (до появления опасного отказа в другом канале резервирования), а также допустимого времени устранения опасного отказа. В случае появления опасного отказа в канале резервирования за меньший период эксплуатации расследуются причины, влияющие на недопустимую безопасность таких систем ЖАТ.

## Список литературы

- 1 IEC 61508-1(2010). Functional safety of electrical/electronic/programmable electronic safety-related systems. – Part 1: General requirements. – М. : PCT, 2010. – 132 с.
- 2 CENELEC-EN 50129. Railway applications – Communication, signalling and processing systems – Safety related electronic systems for signalling. – Киев: УкрНИУЦ, 2019.
- 3 МГС ГОСТ 33895–2016. Системы железнодорожной автоматики и телемеханики на перегонах железнодорожных линий. Требования безопасности и методы контроля. – Введ. 11.01.2017. – М. : Стандартиформ, 2017. – 16 с.
- 4 МГС ГОСТ 33893–2016. Системы железнодорожной автоматики и телемеханики на железнодорожных переездах. Требования безопасности и методы контроля. – Введ. 11.01.2017. – М. : Стандартиформ, 2017. – 16 с.
- 5 МГС ГОСТ 33894–2016. Системы железнодорожной автоматики и телемеханики на железнодорожных станциях. Требования безопасности и методы контроля. – Введ. 11.01.2017. – М. : Стандартиформ, 2017. – 30 с.
- 6 **Кустов, В. Ф.** Разработка требований функциональной безопасности для устройств железнодорожной автоматики / В. Ф. Кустов // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2020. – № 2 (41). – С. 28–30.

УДК 681.51

## ПРИМЕНИМОСТЬ РЕЛЬСОВЫХ ЦЕПЕЙ, СЧЁТЧИКОВ ОСЕЙ И ОПТОСЕНСОРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДОВ

*В. В. ЛЯНОЙ, Р. В. ГНИТЬКО*

*АО «НПЦ «Промэлектроника», г. Екатеринбург, Российская Федерация*

На место рельсовых цепей (РЦ) как средства контроля свободности/занятости участков пути претендуют две основные технологии: счётчики осей, преимущественно с помощью индуктивных датчиков колеса (ИДК), и оптоэлектронные системы. Рассмотрим возможности и ограничения каждой из них в сравнении с РЦ.

ИДК и системы счётчиков осей (ССО) на их основе применяются с середины XX века, имеют меньшую стоимость жизненного цикла по сравнению с РЦ, в настоящее время в мире внедрено более полумиллиона счётных пунктов. В пятёрке мировых лидеров – Thales (более 150 тыс.), Frauscher (более 120 тыс.), Pintsch Tieffenbach (более 80 тыс.), Siemens (около 50 тыс.), НПЦ «Промэлектроника» (около 25 тыс.). Таким образом, накоплен большой опыт эксплуатации ИДК и ССО, область их применения и функциональные возможности значительно шире, чем у РЦ.

Технология счётчиков осей уже давно вышла за рамки металлодетекции. Новейшие датчики позволяют собирать, обрабатывать и передавать более 40 различных параметров, например: скорость, вибрацию, температуру, положение и диаметр колеса, направление движения, а современные технологии обработки информации дают нам цифровую 3D-модель ферромагнитных масс. При этом на порядки снизилась вероятность сбоев и отказов по сравнению с датчиками 90-х и даже нулевых годов.

На последней выставке InnoTrans мировые лидеры представили новые линейки решений на основе счётчиков осей: для прикладных задач эксплуатации, информационно-логистических систем предприятий, а также объектные контроллеры счётчиков осей с использованием беспроводных сетей передачи данных. Такие интеллектуальные решения соответствуют мировым тенденциям развития техники и востребованы в крупных инфраструктурных проектах.

Однако по своей природе ИДК являются точечными датчиками и не обеспечивают две функции РЦ: контроль излома или изъятия рельса и АЛСН. Но являются ли РЦ релевантным средством контроля излома или изъятия рельса?

По данным исследований российских учёных В. М. Филиппова и А. А. Маркова, основными являются случаи изломов рельсов в зоне сварных стыков (более 35 %), из-за поперечных трещин в головке ( $\approx 25$  %), и из-за трещин коррозионного происхождения в подошве рельсов ( $\approx 20$  %).

Исследования, проведённые НИЦ-ПУТЬ на Горьковской ж. д., показывают, что большинство изломов рельсов происходит под поездами, в местах со сверхнормативными отступлениями в параметрах путевой решётки, где возникает продольное кручение рельса от приложенной поездами нагрузки. В подошве рельса зарождается и развивается усталостная трещина, которая приводит к излому рельса под поездами по дефектам 69 и 79. А при боковом смещении головки рельса внутрь колеи происходит динамическое соударение гребня колеса и головки рельса. В результате происходит зарождение и развитие горизонтальных и поперечных трещин.