

– поиск технических решений для оптимизации затрат на автоматизацию процесса закрепления, в том числе за счет комбинированного использования новых и уже эксплуатируемых устройств, а также проведение необходимого комплекса испытаний разрабатываемых институтом и изготавливаемых отечественной промышленностью систем и устройств закрепления подвижного состава;

– совместную работу института с производителями устройств закрепления для комплексной проработки технических и технологических аспектов внедрения устройств автоматизации подвижного состава.

#### Список литературы

- 1 Пасичный, А. Н. Обзор современных технических средств для закрепления подвижного состава на станционных путях / А. Н. Пасичный. – 2013. – № 2. – С. 80–85.
- 2 Кобзев, В. А. Развитие технических средств обеспечения безопасности станционных процессов: учеб. пособие / В. А. Кобзев. – М. : МИИТ, 2008. – 76 с.
- 3 Ильин, А. М. Повышение надежности закрепления подвижного состава на станционных путях / А. М. Ильин, О. Н. Числов, А. С. Боева // Железнодорожный транспорт. – 2020. – № 10. – С. 24–29.
- 4 УТС-380 будет работать надежнее // Автоматика, связь, информатика. – 2018. – № 6. – С. 45.
- 5 Стояночные тормозные башмаки для закрепления подвижного состава на станционных путях. Полигонные испытания / Д. П. Марков [и др.] // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. – 2016. – Т. 75, № 5. – С. 308–317.
- 6 Ильин, А. М. Многовариантная верификационная методика расчета норм закрепления подвижного состава на железнодорожных путях станций / А. М. Ильин, О. Н. Числов // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2020. – № 3 (79). – С. 115–123. – DOI: 10.46973/0201-727X\_2020\_3\_115.
- 7 Розенберг, И. Н. Инновации на железнодорожном транспорте / И. Н. Розенберг, А. Н. Шабельников // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2017. – № 3 (67). – С. 112–118.
- 8 Концепция «Цифровая железнодорожная станция», утвержденная ОАО «РЖД» 07.11.2018 распоряжение № 1049.
- 9 Бочков, А. В. Об актуальных задачах и направлениях научно-технологического развития АО «НИИАС». Январь–май 2023 г. / А. В. Бочков // Наука и технологии железных дорог. – 2023. – Т. 7, № 2 (26). – С. 3–16.
- 10 Патент № 2618656 С1 Российская Федерация, МПК В61L 3/00. Система закрепления составов на путях железнодорожной станции : № 2016107405 : заявл. 01.03.2016 : опублик. 05.05.2017 / В. А. Гапанович [и др.] ; заявитель Открытое акционерное общество «Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт информатизации, автоматизации и связи на железнодорожном транспорте».
- 11 Автоматизация позиционирования подвижного состава в системах закрепления на железнодорожных станциях / И. А. Ольгейзер [и др.]. – 2023. – № 3. – С. 2–5. – DOI: 10.34649/АТ.2023.3.3.001.
- 12 Перспективы внедрения комплекса позиционирования и контроля закрепления составов на путях железнодорожных станций «Прицел» / [А. Е. Хатламаджиян [и др.]] // Вестник Института проблем естественных монополий: Техника железных дорог. – 2023. – № 3 (63). – С. 28–33.

УДК 656.25

### ОБЗОР СУЩЕСТВУЮЩИХ СРЕДСТВ АВТОМАТИЗАЦИИ FMECA-АНАЛИЗА

С. Н. ХАРЛАП, В. Л. КАТКОВ, Е. П. ЛИТВИНОВ  
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Постоянное развитие элементной базы систем железнодорожной автоматики и телемеханики (СЖАТ) ведет к появлению новых сложных технических систем и электронных устройств. Современные тенденции развития СЖАТ – это повсеместное внедрение информационных технологий, переход к цифровым системам, объединение возможностей различных устройств и другое, но неизменным остается требование к обеспечению функциональной безопасности и надежности данных систем.

Поэтому перед внедрением микроэлектронных систем и устройств железнодорожной автоматики в соответствии с требованиями нормативных документов разработчик обязан подтвердить функциональную безопасность внедряемых систем. Основным методом доказательства, 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 и расчет вероятности возникновения опасных отказов. Анализ является обязательным при доказательстве безопасности систем.

Эксперты при выполнении *FMECA* анализа сталкиваются со следующими проблемами: высокая сложность систем, длительный и рутинный характер выполнения анализа, обуславливающие высокую вероятность ошибок человека. Несмотря на недостатки, анализ необходим, все этапы его строго регламентированы. Частично решить эти проблемы можно автоматизацией проведения анализа на базе имитационной модели устройства. На данный момент существуют следующие программные комплексы, способные частично решить проблему автоматизации *FMECA*-анализа:

*RAM Commander* – это система методологии *RAMS* (*Reliability Availability Maintenance Safety* – безотказность, готовность, ремонтпригодность, безопасность) [2], программный комплекс технических и математических инструментов, охватывающих весь спектр задач оценки уровня надежности инженерной системы. Основанный на вероятностных расчетах, сложный математический аппарат *RAM Commander* реализуется в максимально понятные формы и позволяет провести необходимые расчеты и получить практические характеристики, необходимые для совершенствования современной продукции.

*RAM Commander* позволяет вычислять среднюю наработку на отказ/критический отказ (*MTBF/MTBCF*), среднее время на ремонт (*MTTR*), среднее время между устранениями отказов (*MTBMA*) и др.

К достоинствам данного программного обеспечения можно отнести: создание платформы для комплексной системы реализации стратегии предприятия по улучшению качества и сокращению стоимости жизненного цикла разрабатываемых изделий, обеспечение выполнения отчетов по надежности в соответствии с принятыми государственными и отраслевыми стандартами, единая база расчетов надежности по всем проектам, организация сквозного процесса контроля надежности изделий, повышение достоверности результатов и возможностей по оптимизации изделия, поддержка подготовки к сертификации изделия [3].

Недостатками являются высокая коммерческая стоимость и отсутствие исходного кода для индивидуальной кастомизации продукта.

Программный продукт *FavoWeb* – это работающая в Интернете динамическая *FRACAS*-система (*Failure Reporting Analysis and Corrective Action System* – Система оповещения об отказах, анализе и корректирующих действиях). Многие зарубежные компании, например компания *Lockheed Martin*, широко используют систему *FRACAS*.

Программный продукт *FavoWeb* основан на современных возможностях интернет-технологий и реализует полный замкнутый цикл методологии *FRACAS*, который применим к любому продукту, услуге, процессу. Может быть использован в любой фазе жизненного цикла: разработке, макетировании, производстве, эксплуатации, техническом обслуживании, контроле, испытании; в любой отрасли: авиации, обороне, связи, электронике, фармацевтике, автомобилестроении, бытовой технике.

Система *FRACAS* позволяет создавать базы данных, переводя разнородные данные в структурированную информацию о качестве. Имеет мощный механизм корректирующих действий: поддержка работы групп анализа отказов/дефектов/материалов, анализ глубинных причин отказов, устранение проблем. Содержит модуль *Workflow* для автоматизации извещения об отказах и серийных номерах.

Программа предлагает широкий набор функций, возможностей оценки и улучшения надежности оборудования благодаря тесной интеграции с системой анализа *RAM Commander*.

Программные комплексы *Relex* и *Risk Spectrum* позволяют проводить логико-вероятностный анализ надежности и безопасности технических систем, например, расчет надежности современных автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУТП), оптимизацию техногенного риска и определение оптимальных параметров системы технического обслуживания потенциально опасных объектов.

Основное применение *Risk Spectrum* получил в вероятностном анализе безопасности объектов атомной энергетики на стадии проектирования. Комплекс используется более чем на 50 % атомных станций мира, включен в перечень программных средств, аттестованных во многих странах. *Relex* и *Risk Spectrum* могут быть использованы для расчета надежности не только управляющих или технологических систем, но и изделий приборостроения, вычислительной техники, на транспорте, в оборонной технике.

Наиболее известным на постсоветском пространстве является программный комплекс автоматизированного структурно-логического моделирования (ПК АСМ). Его теоретической основой является общий логико-вероятностный метод системного анализа, реализующий все возможности

основного аппарата моделирования алгебры логики в базе операций «И», «ИЛИ», «НЕ». Форма представления исходной структуры системы – схема функциональной целостности, позволяющая отображать практически все известные виды структурных моделей систем. Комплекс автоматически формирует расчетные аналитические модели надежности и безопасности систем и вычисляет вероятность безотказной работы, среднюю наработку до отказа, коэффициент готовности, среднюю наработку на отказ, среднее время восстановления, вероятность отказа восстанавливаемой системы, вероятность готовности смешанной системы, а также значимость и вклад элементов в различные показатели надежности системы в целом. ПК АСМ позволяет также автоматически определять кратчайшие пути успешного функционирования, минимальные сечения отказов и их комбинации.

Также на российском рынке представлена успешно развивающаяся подсистема АСНИКА-К – программное средство решения задач анализа и обеспечения надежности в рамках автоматизированного проектирования радиоэлектронной аппаратуры (РЭА). По своим возможностям подсистема АСНИКА-К не уступает RBD-модулям зарубежных программных комплексов *A.L.D. Group (RAM Commander)*, *Relax*, *Isograph* и др. АСНИКА-К позволяет вести расчет надежности РЭА, производимой в России, на основе данных, приведенных в отечественных справочниках «Надежность электрорадиоизделий», «Надежность электрорадиоизделий зарубежных аналогов».

Следует отметить, что актуальной является проблема разработки отечественных программных комплексов для автоматизированного моделирования и расчета статических и динамических показателей надежности и безопасности сложных технических систем, что обусловлено объективными трудностями использования для этих целей программ зарубежной разработки – так как все вышеперечисленные программные продукты обладают высокой стоимостью, технологической зависимостью и проблемами подготовки кадров. Поэтому в «НИЛ БЭМС ТС» на базе БелГУТа ведется разработка собственного программного комплекса, который в будущем, как предполагается, сможет выполнять большинство пунктов FMECA-анализа в автоматическом режиме.

Программное обеспечение базируется на программе *ngSpice* [4], которая использует для моделирования ядро *SPICE* – общепризнанный эталон в области моделирования электронных схем. Используется открытое, свободно распространяемое программное обеспечение. В настоящее время решены задачи автоматизации для этапов определения видов отказов, их имитации и протоколирования результатов. Ведется работа над определением последствий и критичности отказов в соответствии с установленными критериями.

#### Список литературы

- 1 Failure Mode, Effects & Criticality Analysis (FMECA) [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://quality-one.com/fmea/>. – Дата доступа : 16.09.2023.
- 2 RAM Commander [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://s-labs.ru/index.php/73-areas-of-work/170-ramc>. – Дата доступа : 17.09.2023.
- 3 Обзор программных комплексов по расчету надежности сложных технических систем [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://kit-e.ru/obzor-programmnyh-kompleksov-po-raschetu-nadezhnosti-slozhnyh-tehnicheskikh-sistem/>. – Дата доступа : 18.09.2023.
- 4 Ngspice User's Manual Version 40 plus (ngspice release version) [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://ngspice.sourceforge.io/>. – Дата доступа : 19.09.2023.

УДК 656.25

## ОЦЕНКА КОРРЕКТНОСТИ МЕТОДИКИ РАСЧЁТОВ УРОВНЯ ГАРМОНИЧЕСКИХ ПОМЕХ ОТ ТЯГОВОГО ТОКА

*В. И. ШАМАНОВ, Д. В. ДЕНЕЖКИН*

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

На железных дорогах мира, в том числе в России и Беларуси, для контроля свободности участков пути и отсутствия на них излома рельсов широко используются рельсовые цепи (РЦ). На электрифицированных железных дорогах основным источником помех на работу РЦ и автоматической локомотивной сигнализации (АЛС) являются гармоники тягового тока. Уровень этих помех зависит от разности тяговых токов в местах подключения к рельсам приемников РЦ или под катушками АЛС. Величина этой разности (асимметрия) является основной при оценке электромагнитной обстановки для систем интервального регулирования движения поездов.