

После выявления отказов выполняются действия согласно применяемой стратегии безопасности, например переход в безопасное состояние или запуск процесса самовосстановления.

В настоящее время нет единого подхода, позволяющего выполнить обнаружение отказов для любых систем, и поэтому актуальным является разработка соответствующих эффективных методов и средств. В докладе рассматривается решение с помощью метода взаимной проверки аксиоматических базисов.

Метод основывается на аксиоматико-базисном подходе, в рамках которого выбираются два или более дивергентных аксиоматических базиса, и в дальнейшем реализуются процедуры их взаимной проверки. Другими словами, утверждения одного базиса проверяются на основе функциональности, опирающейся на другой базис. Это дает такое качество, что в случае отказа происходит нарушение одного из базисов, а другой базис остается в работоспособном состоянии и может проверить истинность первого базиса. Как следствие, метод предоставляет надежный и формально верифицируемый способ диагностики.

Во время разработки отказоустойчивой системы по рассматриваемому методу необходимо выполнять ряд мероприятий, в которые входят: выбор дивергентных базисов, доказательство их дивергентности, определение общих утверждений базисов для исключения отказов по общей причине, верификация общего базиса вне рассматриваемой теории и др. Как правило, данные решения зависят от рассматриваемой системы, и особенности их применения рассматриваются в докладе.

В настоящее время оценка эффективности метода проведена с помощью имитационного моделирования. В качестве инструмента моделирования применялся КИИБ (комплекс имитационных испытаний на безопасность), который позволяет проводить имитационные испытания на функциональную безопасность в соответствии с IEC 61508, EN 50126, ОСТ 32.146 микропроцессорных систем управления ответственными технологическими процессами. С помощью КИИБ вносились различные отказы, которые могли повлиять на функционирование, и в дальнейшем анализировалось поведение системы. Таким образом, на практике было отработано и подтверждено, что с помощью метода взаимной проверки аксиоматических базисов возможна разработка и верификация безопасных и отказоустойчивых систем, а также целенаправленное и формализованное повышение отказоустойчивости посредством усиления базиса.

Опыт разработки и верификации показал, что метод может быть применен с минимальными затратами к широкому классу систем без предъявления специфичных требований. Также метод позволяет формализованно доказать, что система обладает заданным качеством. Таким образом, с помощью метода взаимной проверки аксиоматических базисов можно выйти на новый уровень формализации и качества в разработке и верификации отказоустойчивых и безопасных систем.

В докладе рассматриваются основные положения метода, его особенности, опыт применения и результаты имитационных испытаний.

УДК 656.25

## ПРОБЛЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕЛЬСОВЫХ ЛИНИЙ ДЛЯ ПЕРЕДАЧИ СИГНАЛОВ ТЕЛЕМЕХАНИКИ

*В. И. ШАМАНОВ*

*Московский государственный университет путей сообщения (МГУПС (МИИТ)),  
Российская Федерация*

Устойчивость работы автоматической локомотивной сигнализации (АЛС) и рельсовых цепей (РЦ) на электрифицированных участках железных дорог лимитируется, прежде всего, уровнем помех от тяговых токов. На железных дорогах России количество сбоев АЛС в расчете на один миллион пробега у электровозов в 40–70 раз больше, чем у тепловозов на участках с автономной тягой. При электротяге переменного тока сбоев больше в среднем в 1,7 раза по сравнению с участками, электрифицированными на постоянном токе. Подобная картина наблюдается и на магистральных железных дорогах Казахстана.

Сбои ухудшают безопасность движения поездов, повышают психофизиологическую нагрузку на локомотивные бригады, увеличивают расходы в хозяйстве автоматики и телемеханики, а также в хозяйстве пути на поиск и устранение причин сбоев.

Уровень рассматриваемых помех является функцией величины асимметрии гармоник тягового тока, протекающих в рельсах под приемными локомотивными катушками и в местах подключения к рельсам приемной аппаратуры РЦ. В свою очередь под катушками АЛС величина этой асимметрии определяется величиной асимметрии входных сопротивлений рельсовых нитей для гармоник тягового тока, утекающих вперед по ходу поезда. На входном для тягового тока конце РЦ асимметрия тягового тока подчиняется подобной зависимости. На выходном конце РЦ рассматриваемая зависимость намного сложнее и является функцией распределения продольных и поперечных сопротивлений вдоль рельсовых нитей как однопроводных для тягового тока электрических линий.

При проведении исследований распределения величин продольных и поперечных сопротивлений рельсовых линий в условиях эксплуатации было выявлено, что асимметрия тягового тока оказывается больше асимметрии данных сопротивлений. Анализ процесса формирования асимметрии тягового тока показал, что появление асимметрии продольных и/или поперечных сопротивлений рельсовых нитей вызывает также появление асимметрии магнитных сопротивлений этих нитей. Это может приводить к увеличению асимметрии тягового тока в два и более раза. Анализ процесса изменения асимметрии тягового тока и вдоль рельсовой линии, и во времени дополнительно усложняется тем, что величина асимметрии зависит также от электрического сопротивления сплошных рельсов, которое варьирует при изменении величины тягового тока в них и при изменении температуры окружающей среды.

С ростом частоты гармоники тягового тока амплитуда её уменьшается, поэтому ошибочно считалось, что более высокие гармоники тягового тока мало влияют на РЦ и АЛС. Однако величина напряжения помех, наводимого в приемных локомотивных катушках, растет пропорционально частоте тока помехи. В рельсовых нитях, обладающих индуктивным сопротивлением, с ростом частоты токи гармоник быстрее затухают вдоль них. Однако даже в длинных РЦ при приближении поезда к месту установки их аппаратуры растет уровень помех и от высших гармоник, так как расстояние между источником помех и приемниками РЦ уменьшается.

Проведенные в условиях эксплуатации исследования показали также, что эффективность ослабления помех фильтрами, используемыми в аппаратуре РЦ и АЛС, часто оказывается недостаточной, особенно при движении тяжеловесных поездов и при сгущении потока поездов. Для решения указанной проблемы был разработан ряд конструктивных решений и организационных мероприятий, позволяющих или существенно, или заметно повысить устойчивость работы аппаратуры РЦ и АЛС при действии рассматриваемых помех.

УДК 656.25.071.8

## ОПТИМИЗАЦИЯ КОЛИЧЕСТВА РЕМОНТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ УЧАСТКОВ ДИСТАНЦИЙ СИГНАЛИЗАЦИИ И СВЯЗИ

*Д. Н. ШЕВЧЕНКО, И. Н. КРАВЧЕНЯ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

*В. К. ГОЛИК*

*Белорусская железная дорога, г. Минск*

В настоящее время на Бел. ж.д. эксплуатируется более 150 типов аппаратуры сигнализации, централизации и блокировки (СЦБ), среди которых 640 тысяч реле, фильтры, усилители, генераторы и проч. Ремонт и периодическая проверка аппаратуры СЦБ выполняется в ремонтно-технических участках (РТУ СЦБ) дистанций сигнализации и связи (ШЧ).

Большая номенклатура аппаратуры СЦБ и жесткие требования к своевременности ее проверки заставляют в РТУ СЦБ каждого из 15 ШЧ Бел. ж.д. содержать большой штат квалифицированных электромехаников (ШН) и электромонтеров (ШЦМ). Современные тенденции оптимизации численности сотрудников предприятий вынуждают искать новые более эффективные способы организации работы. Один из таких вариантов – объединение РТУ СЦБ различных ШЧ в единое самостоятельное подразделение. Оно имеет ряд очевидных преимуществ:

1 Минимизация штата, количества аппаратуры СЦБ, находящихся в технологическом запасе РТУ СЦБ (обменный фонд), количества оборудования, энерго- и трудозатрат на проверку и ремонт аппаратуры СЦБ за счет использования специальных стенов. РТУ СЦБ должны специализиро-