

функциями принадлежности. Расчеты осуществлены с использованием статистической системы R.

Диспетчерскими службами железной дороги осуществляется контроль движения поездов в соответствии с установленным графиком движения, но пока не существует «инструментов», которые контролируют и оценивают качество доставки груза.

Предложенная оценка эксплуатационного отклонения по категорированной шкале может быть передана в лингвистической форме диспетчерскому аппарату для принятия решения. В соответствии со шкалой перевозка с оценкой «значительное», «серьёзное», «критическое», «надкритическое» (отклонение) требует управленческого вмешательства. Таким образом, метод позволит обеспечить контроль за соблюдением времени доставки груза со стороны диспетчерского аппарата и реализует формирование количественной оценки качества предоставления транспортной услуги.

---

#### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

- Кириченко Анна Ивановна, г. Киев, Государственный университет инфраструктуры и технологий, заведующая кафедрой «Управление процессами перевозок», канд. техн. наук, доцент;
- Приймак Андрей Александрович, г. Киев, Государственный университет инфраструктуры и технологий, аспирант кафедры «Управление процессами перевозок».

УДК 656.22.05

## **ОЦЕНКА И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ МИКРОЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ АВТОМАТИКИ И ТЕЛЕМЕХАНИКИ К ВОЗДЕЙСТВИЮ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ АТАК**

*К. А. БОЧКОВ, Н. В. РЯЗАНЦЕВА*

*УО «Белорусский государственный университет транспорта», г. Гомель*

*Д. В. КОМНАТНЫЙ*

*УО «Гомельский государственный технический университет им. П.О. Сухого»*

Научные исследования профессора И. Г. Тихомирова и ученых его научной школы в области разработки графика движения поездов и оперативного управления поездной работой на железнодорожных участках основаны на оценке надежности устройств инфраструктуры и выполнении требований

безопасности в соответствии с установленными в нормативно-правовых актах техническими нормами.

Современные системы железнодорожной автоматики и телемеханики (СЖАТ), построенные на основе аппаратно-программных комплексов, являются высокоинтеллектуальными системами управления движением поездов, обеспечивающими заданный уровень безопасности их функционирования. Вместе с тем, использование микроэлектронной элементной базы, микропроцессоров и IT-технологий привели к появлению новых видов угроз по обеспечению безопасности движения поездов.

Одним из новых видов угроз микропроцессорным СЖАТ является «электромагнитный терроризм», суть которого заключается в преднамеренном воздействии на них сверхширокополосным импульсом помех (СШИП) высокой энергии.

Следует отметить, что воздействие СШИП различной энергии на микроэлектронные СЖАТ могут приводить как к сбоям в работе объектных контроллеров, так и к физическому разрушению элементной базы, влияющих на возможное появление опасных отказов.

Такие импульсы, в отличие от традиционных источников помех, обладают распределением спектральной плотности в диапазоне от сотен МГц до единиц ГГц, что позволяет им легко проникать в аппаратно-программные комплексы (АПК) микроэлектронных устройств через паразитные емкостные каналы. Отличительной особенностью СШИП является также соизмеримость длительности воздействия импульсов с длительностью рабочих и тактовых импульсов АПК СЖАТ, что делает их значительно опаснее, чем воздействие электромагнитного импульса высотного ядерного взрыва микросекундной длительности с шириной спектра от единиц кГц до сотен МГц.

При проведении испытаний на устойчивость к воздействию СШИП обычно используют специальные генераторы с излучателями на основе антенной решетки из ТЕМ-рупоров или излучателей на основе параболических рефлекторов. Исходя из этого можно предположить использование таких же методов и при преднамеренном воздействии («электромагнитном терроризме») на микроэлектронные СЖАТ. Рупорные излучатели образуют сферические, сравнительно слабонаправленные волны, а параболические рефлекторы формируют плоскую остронаправленную волну с шириной диаграммы в несколько градусов.

В условиях прямой видимости объекта поражения допустимо использовать выражения для поля указанных типов волн во временной области:

$$\text{– плоская волна – } E(R, t) = \frac{1}{2} E_m f \left( t - \frac{R}{c} \right) e^{-\frac{\gamma}{2} R},$$

$$\text{– сферическая волна – } E(R, t) = \frac{1}{R} E_m f \left( t - \frac{R}{c} \right) e^{-\gamma R},$$

где  $E(R, t)$  – мгновенное значение напряженности электрического поля, В/м;  $E_m$  – амплитуда напряженности, В/м;  $R$  – расстояние, м;  $t$  – время, с;  $c$  – скорость света, м/с;  $\gamma$  – коэффициент затухания,  $\text{м}^{-1}$ .

Из приведенных выражений следует, что плоская волна затухает за счет рассеяния в среде, которое в воздушном пространстве достаточно слабо. Сферическая волна затухает с расстоянием и за счет рассеяния в среде. Поэтому плоские волны являются наиболее опасными с точки зрения функционирования аппаратуры СЖАТ.

Указанные соотношения для плоской волны показывают, что волна в точке наблюдения имеет ту же форму что и волна, излученная антенной. Амплитуда волны в точке наблюдения мало изменяется по сравнению с излучаемой. Отверстие в корпусе-экране АПК СЖАТ вырезает из фронта волны импульс напряженности поля  $E(t)$ , форма которого совпадает с формой импульса излученной волны.

При воздействии на то же отверстие генератором-имитатором сверхширокополосных импульсных помех напряжение генератора также создает импульс напряженности поля в отверстии. Поэтому, подобрав генератор соответствующих импульсов или воздействуя на отверстие эквивалентным импульсом, можно косвенно оценить последствия электромагнитного импульса преднамеренного воздействия. Наиболее близким по форме и ширине спектра является использование стандартного генератора электростатических разрядов, например в соответствии с ГОСТ 30804.4.2.

При использовании такого подхода не требуется проводить испытания в безэховых камерах с использованием дорогостоящих генераторов и излучателей СШИП с напряженностями электрического поля от единиц до сотен кВ/м. Это позволит спрогнозировать поведение АПК СЖАТ при применении преднамеренного воздействия «электромагнитного терроризма» с предполагаемыми характеристиками используемого генератора в функции от расстояния прямой видимости на объект АПК СЖАТ.

Зная характеристики электрической составляющей поля в раскрыве отверстия, можно численным или аналитическим методом получить оценку поля, проникающего сквозь неоднородность внутрь корпуса ТС ЖАТ, и энергии помех, наведенной в паразитных антеннах узлов ТС. При этом оценка аналитическим методом является пессимистической, так как перекрывает все возможные резонансы в электродинамической системе ТС ЖАТ.

Для практической реализации описанной методики, ускорения расчетной работы в Научно-исследовательской лаборатории (НИЛ) «Безопасность

и электромагнитная совместимость технических средств» (БЭМС ТС) НИИЖТа при БелГУТе разработана программа [1], которая осуществляет расчеты параметров помех внутри корпуса-экрана с неоднородностями. Предусмотрена возможность расчета параметров помехового излучения от круглого и прямоугольного отверстий, тонкой щели, болтового соединения, при воздействии на апертуру биэкспоненциального и гауссового импульсов напряжения. При этом в окне программы выбираются вид импульса, форма неоднородности экрана, задаются параметры импульса, неоднородности, координаты точки наблюдения внутри корпуса. Затем в результате работы программы пользователь получает значения составляющих вектора потока энергии в заданной им точке наблюдения.

Полученные в НИЛ «БЭМС ТС» НИИЖТа при БелГУТе научные результаты позволяют проводить оценку соответствия по требованиям к функциональной безопасности, а также прогнозировать поведение АПК СЖАТ при преднамеренном воздействии СШИП.

#### **Список литературы**

1 Бочков, К. А. Системный подход к прогнозированию воздействия сверхширокополосных импульсов помех на ключевые системы информационной инфраструктуры / К. А. Бочков, Д. В. Комнатный // Технологии ЭМС. – 2017. – № 4. – С. 3–10.

---

#### **СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:**

- Бочков Константин Афанасьевич, г. Гомель, УО «Белорусский государственный университет транспорта», профессор кафедры «Автоматика, телемеханика и связь», научный руководитель испытательной лаборатории «Безопасность и электромагнитная совместимость технических средств», д-р техн. наук;
- Комнатный Дмитрий Викторович, г. Гомель, Гомельский государственный технический университет им. П. О. Сухого, доцент кафедры «Теоретические основы электротехники», канд. техн. наук;
- Рязанцева Наталья Васильевна, г. Гомель, УО «Белорусский государственный университет транспорта», доцент кафедры «Информационно-управляющие системы и технологии», канд. физ.-мат. наук.