

Анализ и прогнозирование устойчивости систем управления движением поездов к сверхширокополосным электромагнитным импульсам преднамеренного воздействия

Д. В. КОМНАТНЫЙ

Белорусский государственный университет транспорта (БелГУТ), Гомель, 246653, Республика Беларусь

Аннотация. Рассматривается проблема обеспечения устойчивости систем железнодорожной автоматики к сверхширокополосным импульсам электромагнитного поля. Эти импульсы могут быть использованы для преднамеренного воздействия на аппаратуру этих систем. Показано, что современные комплексные системы управления и обеспечения безопасности движения поездов оказываются уязвимыми для электромагнитных импульсов преднамеренного воздействия. Выделены особенности, которые определяют отличие проблемы обеспечения устойчивости систем железнодорожной автоматики от информационных систем. В частности, микропроцессорные системы автоматики территориально распределены и доступны для воздействия с близкого расстояния.

Испытательные генераторы, используемые для подтверждения устойчивости к электромагнитным импульсам преднамеренного воздействия, являются уникальными установками. Поэтому для сокращения количества испытаний требуются расчетные оценки и комплексные испытания на устойчивость к электромагнитным помехам. Электростатические разряды обладают наибольшей шириной частотного спектра. Они воздействуют на те же апертуры в корпусах технических средств систем железнодорожной автоматики, что и импульсы преднамеренного воздействия. Уровень поглощаемой в электронных узлах энергии может быть рассчитан по теореме Рэлея. Электромагнитное поле внутри корпуса определяется по известным соотношениям для излучения антенн и зависит от спектра электрической составляющей поля в раскрыве антенны. Этот спектр, в свою очередь, зависит от спектра импульса электростатического разряда и геометрических параметров антенны.

При падении электромагнитной волны импульса преднамеренного воздействия апертура выделяет этот импульс и передает его внутрь корпуса. Поэтому излучаемый внутрь корпуса импульс преднамеренного воздействия и импульс электростатического разряда могут быть сопоставлены по форме и амплитуде. Импульсы разной формы, в свою очередь, могут быть сопоставлены с помощью спектрально-энергетического условия эквивалентности. Импульс преднамеренного воздействия, эквивалентный импульсу электростатического разряда и, соответственно, имеющий с ним одинаковую энергию, вызывает точно такие же отказы или сбои элементной базы. Амплитуда импульса, принимаемого апертурой, и амплитуда излучаемого импульса связаны коэффициентом использования антенны. Таким образом, получена методика косвенной оценки влияния электромагнитного импульса преднамеренного воздействия на системы железнодорожной автоматики по данным расчетного прогнозирования их устойчивости к электростатическим разрядам.

Получен аналог уравнения силового подавления радиоэлектронных средств, который позволяет найти параметры генератора электромагнитных импульсов, создающего опасные импульсы для систем железнодорожной автоматики. Также это уравнение позволяет рассчитать размеры зоны подавления для данного генератора.

Ключевые слова: системы железнодорожной автоматики; электромагнитный импульс преднамеренного воздействия; помехоустойчивость; киберзащищенность; электростатический разряд; неоднородность корпуса; косвенная оценка воздействия

Введение. На современном этапе развития систем железнодорожной автоматики и телемеханики (СЖАТ) происходит не просто широкое внедрение микропроцессорных и микроэлектронных систем, а переход к новым концепциям разработки и эксплуатации систем управления движением поездов — цифровизации и интеллектуализации [1]. Это объясняется необходимостью на новом уровне решить две основные задачи функционирования железнодорожного транспорта: обеспечение требуемой провозной способности и высокого уровня безопасности движения поездов. Наиболее эффективным путем решения этих задач является создание комплексной системы управления и обеспечения безопасности движения поездов. В современных условиях повышение безопасности движения требует не только развития традиционных СЖАТ, но и привлечения дополнительных ресурсов на базе информационных технологий и цифровых систем. Таким образом, на базе систем сигнализации, централизации и блокировки (СЦБ) организуется система обеспечения безопасности движения, а на базе автоматизированной системы управления (АСУ) — система управления процессами перевозок. Взаимодействуя между собой, эти системы образуют комплексную систему управления; кроме того, независимо они выходят на региональный уровень управления [2, 3]. Следовательно, система управления процессами перевозок в настоящее время является единым комплексом, основанным на единой вычислительной среде и единой цифровой сети. Она имеет три контура безопасности. Первый — централизованный, он за-

■ E-mail: toe4031@gstu.by (Д. В. Комнатный)

ключается в централизации управления маршрутами и координатного управления в диспетчерском центре. Второй — децентрализованный, его образуют системы СЦБ и технической диагностики. Третий — бортовой, в составе которого имеются системы автоматической локомотивной сигнализации (АЛС) и автоведения [4].

Вместе с тем возрастает чувствительность элементной базы СЖАТ к электромагнитным помехам и воздействиям. Число возможных видов электромагнитных воздействий также увеличивается. В том числе появилась техническая возможность создания сверхширокополосных импульсов электромагнитного поля для преднамеренного воздействия этими импульсами на микрoeлектронные технические средства (ТС) с целью создания большого потока сбоев в этих средствах или вывода их из строя. Объектом преднамеренного воздействия такими импульсами может оказаться и аппаратура современных систем управления перевозочным процессом железнодорожных магистралей, особенно на крупных железнодорожных узлах и линиях скоростного движения [5], что повлечет за собой недопустимое снижение уровня безопасности движения.

Постановка проблемы. Для микропроцессорных СЖАТ можно выделить следующие особенности, которые определяют отличие проблемы обеспечения устойчивости к электромагнитным импульсам преднамеренного воздействия (ЭИПВ) этих систем от информационных систем [6, 7].

Микропроцессорные СЖАТ относятся к базовому уровню инфраструктуры управления движением поездов, поэтому к ним предъявляются повышенные требования по функциональной безопасности при воздействии ЭИПВ.

Возможная попытка воздействия будет иметь целью как нарушение функциональной безопасности СЖАТ, так и вывод их из строя. Оба этих направления атаки вызывают нарушение условий безопасности движения поездов.

Воздействие может быть сосредоточено на те объекты СЖАТ, последствия отказа или сбоя которых наиболее опасны.

Микропроцессорные СЖАТ территориально распределены, часть аппаратуры систем управления концентрируется на постах электрической и диспетчерской централизации. Отдельные блоки и устройства СЖАТ — объектные контроллеры стрелок и сигналов на станциях, сигнальные точки автоблокировки — находятся на территории парка станции или на перегоне в непосредственной близости от объекта управления, следовательно они доступны для преднамеренного электромагнитного воздействия с близкого расстояния. СЖАТ практически не имеют периметров защиты, особенно автоблокировка, электрическая и диспетчерская централизация малых станций.

Цель исследования. Таким образом, перед разработчиками СЖАТ встает задача обеспечения устойчивости современных систем автоматики к возможному воздействию ЭИПВ, которая является частью комплексной проблемы киберзащитности систем обеспечения безопасности движения поездов [6]. Решение этой задачи и составляет цель исследования, результаты которого излагаются в настоящей статье. Включение указанной задачи в комплексную проблему киберзащитности объясняется тем, что одним из ее аспектов является минимизация последствий внешних деструктивных воздействий. Актуальность проблемы подтверждается созданием в Европейском союзе консорциума NIROW, одна из задач которого — анализ воздействия ЭИПВ на системы управления железнодорожным транспортом и разработка мер по их защите [8, 9].

Методы исследования. Устойчивость аппаратуры СЖАТ к установленным в настоящее время видам электромагнитных помех подтверждается результатами испытаний. Для ЭИПВ такое подтверждение усложняется тем, что адекватное моделирование этих импульсов требует применения генераторов, являющихся уникальными установками [5]. Поэтому для сокращения цикла испытаний требуется прибегнуть к расчетным оценкам и методам математического моделирования воздействия ЭИПВ, а также к комплексированию испытаний на устойчивость к разным видам ЭИПВ.

Среди испытательных воздействий, предусмотренных действующей нормативно-технической документацией, электростатические разряды (ЭСР) обладают наиболее широкой полосой частотного спектра, совпадающей с полосой спектра ЭИПВ, и воздействуют на те же неоднородности в корпусах ТС СЖАТ, что и ЭИПВ. Неоднородность корпуса (отверстие, щель, болтовое соединение) при воздействии импульса ЭСР становится паразитной антенной, излучающей помеховое электромагнитное поле внутрь корпуса [10]. Энергия электромагнитных помех поглощается в узлах ТС СЖАТ. Ее уровень определяется по теореме Рэлея

$$W = \frac{S}{4\pi Z_0} \int_0^{\infty} E^2(\omega) d\omega, \quad (1)$$

где W — энергия помехи, Дж; S — площадь паразитной антенны, м²; Z_0 — сопротивление свободного пространства, Ом; $E(\omega)$ — напряженность электрической составляющей помехового поля, В/м; ω — круговая частота, рад/с.

Рассчитав уровни поглощаемой энергии электромагнитных помех, можно определить опасные зоны, в которых энергия помех достаточна для отказа или сбоя элементной базы.

При этом имеющееся внутри корпуса поле определяется спектром напряженности электрической составляющей электромагнитного поля в раскрыве паразитной антенны. Так, для прямоугольного отверстия справедливы расчетные формулы [11]:

$$E_0 = \frac{jabE(j\omega)e^{-jkr_0}}{2\lambda r_0}(1 + \cos\varphi)\cos\varphi \times \frac{\sin(0,5ka\sin\theta\sin\varphi)\sin(0,5kb\sin\theta\cos\varphi)}{0,5ka\sin\theta\sin\varphi \quad 0,5kb\sin\theta\cos\varphi}; \quad (2)$$

$$E_\varphi = \frac{-jabE(j\omega)e^{-jkr_0}}{2\lambda r_0}(1 + \cos\varphi)\sin\varphi \times \frac{\sin(0,5ka\sin\theta\sin\varphi)\sin(0,5kb\sin\theta\cos\varphi)}{0,5ka\sin\theta\sin\varphi \quad 0,5kb\sin\theta\cos\varphi}; \quad (3)$$

где E_0, E_φ — составляющие вектора напряженности электрического поля в сферических координатах, В/м; a, b — стороны отверстия, м; $E(j\omega)$ — напряженность электрической составляющей поля в раскрыве прямоугольного отверстия, В/м; λ — длина волны, м; k — волновое число, рад/м; r_0 — расстояние, м; θ, φ — сферические координаты, рад.

Электрическая составляющая поля излучения, созданного узкой щелью внутри корпуса, рассчитывается по формуле [11]:

$$E_\varphi = j \frac{U(j\omega)l}{\lambda r_0} \sin\theta e^{-jkr_0}, \quad (4)$$

где $U(j\omega)$ — напряжение между краями щели, В; l — длина щели, м.

Спектр напряженности поля определяется спектром импульса ЭСР и геометрическими параметрами антенны. Например, для напряженности электрической составляющей поля в раскрыве прямоугольного отверстия справедлива формула [11]:

$$E(j\omega) = \frac{S(j\omega)}{b}, \quad (5)$$

где $S(j\omega)$ — спектр импульса ЭСР, В·с.

Напряжение между краями щели и напряженность поля импульса ЭСР в щели связаны соотношением [11]:

$$U(j\omega) = lE(j\omega). \quad (6)$$

При падении электромагнитной волны ЭИПВ на паразитную антенну (неоднородность) она выделяет из фронта волны импульс и переизлучает его внутрь объема корпуса ТС, причем амплитуды напряженностей электрической составляющей электромагнитного поля принимаемого и излучаемого

импульсов связаны коэффициентом использования антенны [12]:

$$E_{m\text{изл}} = \sqrt{K_{\text{и}}} E_{m\text{прин}}, \quad (7)$$

где $E_{m\text{изл}}$ — напряженность электрического поля импульса, излучаемого внутрь корпуса, В/м; $K_{\text{и}}$ — коэффициент использования; $E_{m\text{прин}}$ — напряженность электрического поля импульса, принимаемого паразитной антенной, В/м.

Следовательно, для комплексирования испытаний и сокращения их числа излучаемый ЭИПВ и импульс ЭСР могут быть сопоставлены по напряженности поля в раскрыве паразитной антенны. Импульс ЭСР наиболее часто моделируется биэкспоненциальным импульсом, такую же форму может иметь ЭИПВ [10, 11]. Воздействие импульса ЭСР и излучаемого биэкспоненциального ЭИПВ с одинаковыми временными параметрами и амплитудой электрической составляющей вызовет те же отказы или сбой элементной базы.

Если рассматривается ЭИПВ другой формы (например, гауссовский или косинус-квадратный), то можно найти параметры такого излучаемого импульса, который эквивалентен вызывающему сбой или отказы импульсу ЭСР. По известным напряжению и временным параметрам импульса ЭСР на основании спектрально-энергетического условия эквивалентности импульсов [11] находятся амплитуда напряжения и временные параметры импульса, совпадающего по форме с рассматриваемым ЭИПВ. Затем по спектру напряжения и геометрическим параметрам антенны с использованием (5) или (6) вычисляется спектр напряженности электрической составляющей помехового поля излучаемого импульса.

По (7) рассчитывается амплитуда принимаемого ЭИПВ, который создает опасный для СЖАТ излучаемый импульс.

Таким образом, получена методика косвенной оценки воздействия ЭИПВ на ТС СЖАТ по данным расчетного прогнозирования и экспериментальной проверки устойчивости тех же ТС к импульсу ЭСР. Испытания на устойчивость к импульсу ЭСР являются обязательной составной частью обеспечения электромагнитной совместимости микроэлектронных устройств СЦБ; методы испытаний достаточно хорошо апробированы [10]. Следовательно, такая методика позволяет получить достоверные данные об устойчивости к ЭИПВ при сокращении числа испытаний. Расчетные соотношения (2), (3), (4) позволяют вычислить излучение паразитной антенны только внутрь корпуса, поэтому результаты расчета являются допустимой оценкой уровня помех внутри корпуса микроэлектронной аппаратуры ответственного назначения [13].

Поскольку свойства принимаемого в паразитной антенне ЭИПВ зависят от конструктивных параметров генераторов таких импульсов и от расстояния от источника до рецептора помехи, то необходимо установить зависимость между ними, поскольку при анализе воздействия на устройства СЖАТ потребуется исходить из оценок технических возможностей и характеристик излучения генераторов ЭИПВ [5]. Исходным пунктом анализа является формула для спектра принимаемого ЭИПВ [14]:

$$S(j\omega) = \frac{\sqrt{60PG}}{r} F(r, \omega) \int_{-\infty}^{+\infty} A(t) e^{-j\omega t} dt, \quad (8)$$

где P — мощность генератора, Вт; G — коэффициент усиления передающей антенны; r — расстояние от источника до рецептора помех, м; $F(r, \omega)$ — коэффициент затухания; $A(t)$ — временная функция формы импульса; t — время, с.

В наиболее вероятном на практике случае, когда генератор ЭИПВ размещен на диффузной поверхности (трава, почва, гравий) и на расстоянии прямой видимости до рецептора помех, коэффициент затухания допустимо рассчитывать по формуле [14, 15]:

$$F(r, \omega) = 1e^{-\gamma r}, \quad (9)$$

где γ — коэффициент затухания в воздухе.

Тогда для амплитуды принимаемого ЭИПВ справедлива формула

$$E_m = \frac{\sqrt{60PG}}{r} e^{-\gamma r}. \quad (10)$$

Формула (10) является аналогом известного уравнения силового подавления радиоэлектронных средств [13, 16]. Расчет по этой формуле тем точнее, чем выше частота спектральных составляющих ЭИПВ. Такие условия характерны для излучения радиолокаторов, которые зачастую используются при расчетах и экспериментах как аналоги генераторов ЭИПВ [5, 17].

Применяя уравнение (10), можно решать различные задачи расчета воздействия ЭИПВ на микроэлектронную аппаратуру, в частности найти параметры генератора (мощность и коэффициент усиления антенны), который расположен на определенном расстоянии от аппаратуры СЖАТ и создает в паразитной антенне (неоднородности корпуса аппаратуры СЖАТ) импульс, способный вызвать отказ или сбой. Другой задачей является расчет зоны подавления для данного генератора ЭИПВ и рассматриваемой СЖАТ [16].

Пример расчета. В качестве примера выполнен расчет воздействия импульса ЭСР и ЭИПВ на узкую щель в корпусе путевого приемника тональной рель-

совой цепи ЕВITrack 400 разработки ООО «Бомбардье транспортешн (Сигнал)». Длина щели $50 \cdot 10^{-3}$ м. Щель возбуждается импульсом генератора ЭСР с параметрами $U = 1,235 \cdot 10^4$ В, $\alpha_1 = 9,324 \cdot 10^7$ с $^{-1}$, $\alpha_2 = 3,871 \cdot 10^8$ с $^{-1}$ (U — величина амплитуды импульса, не зависящая от частоты и длины щели). Эти параметры соответствуют испытанию на устойчивость к ЭСР по третьей степени жесткости с амплитудой импульса 6000 В. Максимальная частота в спектре ЭСР равна 5 ГГц, или $3,14 \cdot 10^{10}$ рад/с [10].

Расчет плотности потока энергии по формулам (1) и (4) показал, что в корпусе имеется зона на расстоянии 80 мм от щели с размерами 20×10 мм, в которой плотность потока энергии превышает плотность потока энергии в других зонах корпуса и составляет до $6,62 \cdot 10^{-7}$ Дж/м 2 . Размещение чувствительной элементной базы в этой зоне может привести к отказам и сбоям приемника.

По данным [11] параметры эквивалентных биэкспоненциального U_6 и гауссова U_r импульсов связаны соотношениями

$$U_6^2 \left(\frac{1}{2\alpha_1} - \frac{2}{\alpha_1 + \alpha_2} + \frac{1}{2\alpha_2} \right) = U_r^2 \tau \sqrt{\frac{\pi}{2}}; \quad (11)$$

$$\Delta f_{0,95} = \frac{2,5}{\sqrt{2\pi\tau}},$$

где τ — длительность гауссова импульса, с; $\Delta f_{0,95}$ — активная ширина спектра биэкспоненциального импульса, Гц.

По (11) вычислена амплитуда гауссова импульса, эквивалентного принятому при моделировании импульсу ЭСР ($4,335 \cdot 10^3$ В). По формулам (6) и (10) получено, что на расстоянии 100 м и при коэффициенте усиления передающей антенны, равном 800, мощность генератора ЭИПВ для создания биэкспоненциального импульса составила $1,27 \cdot 10^{10}$ Вт, а для создания гауссова импульса — $1,566 \cdot 10^9$ Вт. Порядок этих величин соответствует оценкам мощности генераторов ЭИПВ из [16].

Выводы. По результатам аналитического расчета и натурного моделирования воздействия ЭСР на ТС СЖАТ возможна косвенная оценка формы и параметров ЭИПВ, опасных для исследуемой СЖАТ, параметров генераторов ЭИПВ и размеров зон подавления. При этом сокращается объем испытаний, снижается потребность в дорогостоящем и малодоступном оборудовании. Немаловажным является и то, что исследование нового вида электромагнитных угроз (ЭИПВ) ведется на основе уже достаточно изученного ЭСР. Поэтому предлагаемый в статье подход является полезным и востребованным для решения проблемы обеспечения киберзащитности СЖАТ на современном этапе развития этих систем и с учетом появившихся новых угроз.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Инновационные технологии интервального регулирования — основа системы управления движением на МЦК / И. Н. Розенберг [и др.] // Автоматика, связь, информатика. 2019. № 6. С. 5–10.
2. Рогачева И. Л. Эксплуатационная надежность систем электрической централизации нового поколения. М.: Маршрут, 2006. 220 с.
3. Системы железнодорожной автоматики, телемеханики и связи. В 2-х ч. Ч. 1 / А. В. Горелик [и др.]; под ред. А. В. Горелика. М.: ФГБОУ «Учебно-метод. центр по образованию на ж.-д. транспорте», 2012. 212 с.
4. Высокоскоростной железнодорожный транспорт. Общий курс. В 2-х т. Т. 1 / И. П. Киселев [и др.]. М.: ФГБОУ «Учебно-метод. центр по образованию на ж.-д. транспорте», 2014. 308 с.
5. Электромагнитный терроризм на рубеже тысячелетий / М. Бакстром [и др.]; под ред. Т. Р. Газизова. Томск: Изд-во Томского ун-та, 2002. 206 с.
6. Развитие современных систем железнодорожной автоматики и телемеханики с учетом требований функциональной и информационной безопасности / К. А. Бочков [и др.] // Автоматика и телемеханика на железнодорожном транспорте: 9-я Междунар. конф. (Сочи, 17–18 октября 2018 г.): сб. докл. / РГУПС, ОАО РЖД, Северо-Кавказская ж. д. Ростов н/Д, 2018. С. 224–231.
7. Торокин А. А. Инженерно-техническая защита информации. М.: Гелиос АРВ, 2005. 960 с.
8. Schleger A., Vrebbia C. Infrastructure Risk Assessment and Management. New York: WIT Press, 2016. 158 p.
9. Wright D., Kreissl R. Surveillance in Europe. London: Routledge, 2015. 415 p.

10. Кечиев Л. Н., Пожидаев Е. А. Защита электронных средств от воздействия статического электричества. М.: Техноло-гии, 2005. 352 с.
11. Бочков К. А., Комнатный Д. В. Элементы моделирования электромагнитной совместимости устройств железнодорожной автоматики и телемеханики. Гомель: БелГУТ, 2013. 185 с.
12. Никольский В. В. Теория электромагнитного поля. М.: Высшая школа, 1964. 584 с.
13. Комиссаров Ю. Я., Родионов С. С. Помехоустойчивость и электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств. Киев: Техника, 1978. 208 с.
14. Иванов В. А., Ильницкий Л. Я., Фузик М. И. Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств. Киев: Техника, 1983. 189 с.
15. Аполлонский С. М., Горский А. Н. Расчеты электромагнитных полей. М.: Маршрут, 2006. 992 с.
16. Радиоэлектронная борьба. Силовое подавление радиоэлектронных систем / В. Д. Добыкин [и др.]; под ред. А. И. Куприянова. М.: Вузовская книга, 2007. 468 с.
17. Кравченко В. И., Болотов Е. А., Летунова Н. И. Радиоэлектронные средства и мощные электромагнитные помехи. М.: Радио и связь, 1987. 255 с.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

КОМНАТНЫЙ Дмитрий Викторович, канд. техн. наук, доцент, кафедра «Автоматика, телемеханика и связь», БелГУТ

Статья поступила в редакцию 27.05.2020 г., принята к публикации 14.07.2020 г.

Для цитирования: Комнатный Д. В. Анализ и прогнозирование устойчивости систем управления движением поездов к сверхширокополосным электромагнитным импульсам преднамеренного воздействия // Вестник ВНИИЖТ. 2020. Т. 79. № 4. С. 239–244. DOI: <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2020-79-4-239-244>.

Analysis and prediction of the stability of train control systems to ultra-wideband electromagnetic pulses of intentional action

D. V. KOMNATNYI

Belarusian State University of Transport (BelGUT), Gomel, 246653, Republic of Belarus

Abstract. Problem of ensuring stability of railway automation systems to ultra-wideband pulses of an electromagnetic field is considered. These pulses can be used to intentionally affect the equipment of these systems. It is shown that modern complex systems of control and safety of train traffic are vulnerable to electromagnetic impulses of intentional action. The features that determine the difference between the problem of ensuring the stability of railway automation systems from information systems are highlighted. In particular, microprocessor-based automation systems are geographically distributed and accessible for action from a short distance.

The test generators used to prove immunity to electromagnetic impulses from intentional exposure are unique installations. Therefore, to reduce the number of tests design estimates and comprehensive tests for immunity to electromagnetic interference are required. Electrostatic discharges have the widest frequency spectrum. They act on the same apertures in the housings of technical means of railway automation systems as impulses of intentional action. The level of energy absorbed in electronic nodes can be calculated using the Rayleigh theorem. The electromagnetic field inside

the housing is determined by the known relations for the radiation of the antennas and depends on the spectrum of the electric component of the field in the antenna aperture. This spectrum, in turn, depends on the spectrum of the electrostatic discharge pulse and the geometric parameters of the antenna.

When an electromagnetic wave of an intentional impulse is incident, the aperture releases this impulse and transmits it into the housing. Therefore, the intentional impulse emitted into the housing and the electrostatic discharge impulse can be compared in shape and amplitude. Pulses of different shapes, in turn, can be compared using the spectral-energy equivalence condition. Intentional impulse equivalent to an electrostatic discharge impulse and, accordingly, having the same energy with it, causes exactly the same failures or setback of the element base. The amplitude of the pulse received by the aperture and the amplitude of the transmitted pulse are related by the utilization of the antenna. Thus, authors have obtained a technique for indirectly assessing the influence of an electromagnetic pulse of intentional action based on the calculated prediction of the resistance of railway automation systems to electrostatic discharges.

An analogue of the equation of power suppression of radio-electronic means is obtained, which allows finding the parameters of an electromagnetic pulse generator that creates dangerous pulses for railway automation systems. Also, this equation allows calculating the size of the suppression zone for a given generator.

Keywords: railway automation systems; intentional electromagnetic pulse; noise immunity; cyber security; electrostatic discharge; body discontinuity; indirect impact assessment

DOI: <http://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2020-79-4-239-244>

REFERENCES

1. Rozenberg I. N., Matyukhin V. G., Shabunin A. B., Umanskiy V. I. *Innovatsionnye tekhnologii interval'nogo regulirovaniya — osnova sistemy upravleniya dvizheniem na MTsK* [Innovative technologies of interval regulation — the basis of the traffic control system at the MCC]. Automation, communication and informatics, 2019, no. 6, pp. 5–10.
2. Rogacheva I. L. *Eksploatatsionnaya nadezhnost' sistem elektricheskoy tseentralizatsii novogo pokoleniya* [Operational reliability of new generation electrical interlocking systems]. Moscow, Marshrut Publ., 2006, 220 p.
3. Gorelik A. V., Shalyagin D. V., Borovkov Yu. G., Mitrokhin V. E. *Sistemy zheleznodorozhnoy avtomatiki, telemekhaniki i svyazi. V 2-kh ch. Ch. 1* [Systems of railway automation, telemechanics and communication. In 2 parts. Part 1]. Moscow, FGBOU "Uchebno-metod. tsentr po obrazovaniyu na zh.-d. transporte" [FGBOU "Teaching method. center for education on the railway transport"], 2012, 212 p.
4. Kiselev I. P., Blazhko L. S., Burkov A. T. [et al.]. *Vysokoskorostnoy zheleznodorozhnyy transport. Obshchiy kurs. V 2-kh t. T. 1* [High-speed rail transport. General course. In 2 vol. Vol. 1]. Moscow, FGBOU "Uchebno-metod. tsentr po obrazovaniyu na zh.-d. transporte" [FGBOU "Teaching method. center for education on the railway transport"], 2014, 308 p.
5. Bakstrom M., Kemp M., Loborev V., Lovetri Dzh., Missie M., Mozherk K., Meek Dzh., Nitch D., Gazizov T. *Elektromagnitnyy terrorizm na rubezhe tysyacheletiy* [Electromagnetic Terrorism at the Turn of the Millennium]. Tomsk, Izd-vo Tomskogo un-ta [Tomsk Institute Publ.], 2002, 206 p.
6. Bochkov K. A., Gapanovich V. A., Komnatnyy D. V., Rozenberg E. N. *Razvitiye sovremennykh sistem zheleznodorozhnoy avtomatiki i telemekhaniki s uchetoм trebovaniy funktsional'noy i informatsionnoy bezopasnosti* [Development of modern systems of railway automation and telemechanics taking into account the requirements of functional and information security]. Avtomatika i telemekhanika na zheleznodorozhnom transporte: 9-ya Mezhdunar. konf. (Sochi, 17–18 okt. 2018). Sb. dokl. [Automation and telemechanics on railway transport: 9th Inter. conf. (Sochi, October 17–18, 2018). Coll. of reports]. RGUPS, OAO "RZhD", Severo-Kavkazskaya zh.-d. [North Caucasian railway]. Rostov n/D, 2018, pp. 224–231.

nar. konf. (Sochi, 17–18 okt. 2018). Sb. dokl. [Automation and telemechanics on railway transport: 9th Inter. conf. (Sochi, October 17–18, 2018). Coll. of reports]. RGUPS, OAO "RZhD", Severo-Kavkazskaya zh.-d. [North Caucasian railway]. Rostov n/D, 2018, pp. 224–231.

7. Torokin A. A. *Inzhenerno-tekhnicheskaya zashchita informatsii* [Engineering and technical protection of information]. Moscow, Gelios ARV Publ., 2005, 960 p.

8. Schlegler A., Brebbia C. *Infrastructure Risk Assessment and Management*. New York, WIT Press, 2016, 158 p.

9. Wright D., Kreissl R. *Surveillance in Europe*. London, Routledge, 2015, 415 p.

10. Kechiev L. N., Pozhidaev E. A. *Zashchita elektronnykh sredstv ot vozdeystviya staticheskogo elektrichestva* [Protection of electronic devices from the effects of static electricity]. Moscow, Tekhnologii Publ., 2005, 352 p.

11. Bochkov K. A., Komnatnyy D. V. *Elementy modelirovaniya elektromagnitnoy sovmestimosti ustroystv zheleznodorozhnoy avtomatiki i telemekhaniki* [Elements for modeling electromagnetic compatibility of devices for railway automation and telemechanics]. Gomel, BelGUT Publ., 2013, 185 p.

12. Nikol'skiy V. V. *Teoriya elektromagnitnogo polya* [Theory of electromagnetic field]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1964, 584 p.

13. Komissarov Yu. Ya., Rodionov S. S. *Pomekhoustoychivost' i elektromagnitnaya sovmestimost' radioelektronnykh sredstv* [Noise immunity and electromagnetic compatibility of radio-electronic means]. Kiev, Tekhnika Publ., 1978, 208 p.

14. Ivanov V. A., Il'nitskiy L. Ya., Fuzik M. I. *Elektromagnitnaya sovmestimost' radioelektronnykh sredstv* [Electromagnetic compatibility of radio electronic means]. Kiev, Tekhnika Publ., 1983, 189 p.

15. Apollonskiy S. M., Gorskiy A. N. *Raschety elektromagnitnykh poley* [Calculations of electromagnetic fields]. Moscow, Marshrut Publ., 2006, 992 p.

16. Dobykin V. D., Kupriyanov A. I., Ponomarev V. G., Shustov L. N. *Radioelektronnaya bor'ba. Silovoe podavlenie radioelektronnykh sistem* [Electronic warfare. Power suppression of radio electronic systems]. Moscow, Vuzovskaya kniga Publ., 2007, 468 p.

17. Kravchenko V. I., Bolotov E. A., Letunova N. I. *Radioelektronnye sredstva i moshchnye elektromagnitnye pomekhi* [Radio electronic means and powerful electromagnetic interference]. Moscow, Radio i svyaz' Publ., 1987, 255 p.

ABOUT THE AUTHOR

Dmitriy V. KOMNATNYI,

Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Department "Automation, telemechanics and communication", BelGUT

Received 27.05.2020

Accepted 14.07.2020

■ E-mail: toe4031@gstu.by (D. V. Komnatnyy)

For citation: Komnatnyy D. V. Analysis and prediction of the stability of train control systems to ultra-wideband electromagnetic pulses of intentional action // VNIIZhT Scientific Journal. 2020. 79 (4): 239–244 (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2020-79-4-239-244>.

ВЫШЛИ В СВЕТ ТРУДЫ ВНИИЖТ

Актуальные вопросы развития железнодорожного транспорта: материалы Всероссийской научно-практической конференции к 75-летию аспирантуры Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. Ч. 1 / под ред. А. Б. Косарева, Г. В. Гричиани. М.: РАС, 2019. 272 с.

Рассмотрены важные экономические факторы, влияющие на развитие железнодорожного транспорта, проблемы, связанные с подвижным составом, процессами управления перевозками, совершенствованием локомотивной тяги и токосяема электроподвижно-

го состава, а также вопросы пути, путевого хозяйства, металло- и материаловедения.

Сборник рассчитан на научных и инженерно-технических работников железнодорожного транспорта.

По вопросам приобретения книги обращаться по адресу: 129626, г. Москва, 3-я Мытищинская ул., д. 10, редакционно-издательский отдел АО «ВНИИЖТ».

Тел.: (499) 260-43-20, e-mail: rio@vniizht.ru, www.vniizht.ru.