

DOI <https://doi.org/10.30898/1684-1719.2020.8.10>

УДК 621.391.82: 004.3: 681.139.3

## ПОВЫШЕНИЕ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ ДОСТУПОМ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО РАЗРЯДА

Р. М. Сафина<sup>1</sup>, М. С. Шкиндеров<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Поволжская государственная академия физической культуры, спорта и туризма,  
420010, г. Казань, Деревня Универсиады, д. 35

<sup>2</sup> Казанский национальный исследовательский технический университет  
им. А. Н. Туполева – КАИ, 420111, г. Казань, ул. К. Маркса, д.10

Статья поступила в редакцию 5 августа 2020 г.

**Аннотация.** В последние годы одним из наиболее развитых подходов к решению задачи комплексной безопасности объектов является использование систем контроля и управления доступом. При этом исправное функционирование системы контроля в условиях воздействия на них электромагнитных помех является залогом их эффективного использования и надежного обеспечения безопасности контролируемой зоны. Одним из наиболее опасных и вероятных источников электромагнитных помех для системы контроля является электростатический разряд. В работе предложена имитационная модель для анализа электромагнитных помех в линии связи системы контроля и управления доступом. Приведены примеры моделирования электромагнитных помех при воздействии электростатического разряда. Систематизированы методы повышения помехоустойчивости систем контроля и управления доступом при воздействии электростатического разряда.

**Ключевые слова:** система контроля и управления доступом, электростатический разряд, электромагнитная помеха, моделирование, защита.

**Abstract.** In recent years, one of the most developed approaches to solving the problem of complex security of objects is the use of access monitoring and control system. At the same time, the correct functioning of the control system under conditions of exposure to electromagnetic interference is the key to their effective use

and reliable security of the controlled area. One of the most dangerous and probable source of electromagnetic interference for control system is electrostatic discharge. Simulation model for the analysis of electromagnetic interference in communication lines of the access control and management system is proposed in the paper. Examples of modeling electromagnetic interference under the influence of electrostatic discharge are given. Methods of increasing the noise immunity of control and access control systems under the influence of electrostatic discharge are systematized.

**Key words:** access monitoring and control system, electrostatic discharge, electromagnetic interference, simulation, protection.

## 1. Введение

В последние годы одним из наиболее эффективных и развитых подходов к решению задачи комплексной безопасности объектов является использование систем контроля и управления доступом (СКУД) [1–3]. Интерес к СКУД неуклонно растет, что привело к их очень широкому распространению. Правильное использование СКУД позволяет закрыть несанкционированный доступ на территорию, в здание, отдельные этажи и помещения. В то же время они не создают препятствий для прохода персонала и посетителей в разрешенные для них зоны, и в то же время могут иметь функции распознавания лиц [4–6]. При этом исправное функционирование элементов и устройств СКУД, в том числе в условиях воздействия на них непреднамеренных и преднамеренных электромагнитных помех [7–17], является залогом их эффективного использования и надежного обеспечения безопасности контролируемой зоны.

По своему функциональному назначению элементы и устройства СКУД неизбежно и многократно соприкасаются с одеждой или другими аксессуарами посетителей контролируемой зоны. При этом, как правило, в области эксплуатации СКУД не осуществляется контроль влажности, сопротивления поверхностей или контроль типов материалов. В таких

условиях, посетители могут выступать серьезными источниками электромагнитных помех, связанных с накоплением статического заряда и электростатическим разрядом (ЭСР) [18–25]. При обычном хождении человек может заряжаться до напряжений около 15 кВ (рис. 1) [26].

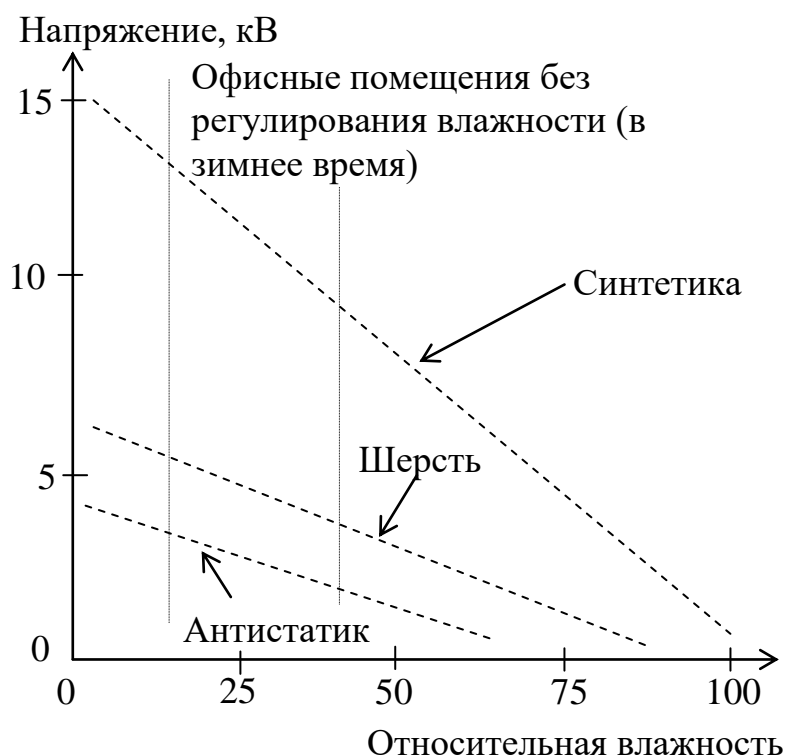


Рис. 1. Зависимость потенциала статического электричества от внешних факторов.

Целью работы является моделирование электромагнитных помех в линии связи и систематизация методов повышения помехоустойчивости СКУД при воздействии ЭСР.

### 1. Ток ЭСР – наиболее опасный фактор электромагнитных помех

Ток ЭСР – это один из основных опасных факторов электромагнитных помех в устройствах СКУД, которые могут привести к нарушению режимов работы электронных элементов в виде кратковременных сбоев и отказов, искажению информационных сигналов и сигналов управления, появлению ложных срабатываний. Как правило, если ЭСР происходит непосредственно на элементы конструкции СКУД, то межблочные информационные линии связи

будут выступать как главные «приемники» помех для проникновения энергии к электронным элементам [19, 26, 27].

Параметры тока ЭСР при проведении исследований (испытаний) электронных технических средств имеют регламентированные значения для разных условий эксплуатации (рис. 2). При этом источник ЭСР воздействует в наиболее вероятные точки элементов конструкции СКУД в условиях эксплуатации. Для СКУД, эксплуатируемых в электромагнитной обстановке помещений гражданских объектов, предъявляются требования по второму уровню жёсткости воздействия (напряжение ЭСР 4 кВ) при нормальной помехоустойчивости и по третьему уровню жесткости (6 кВ) при повышенной помехоустойчивости [28, 29].

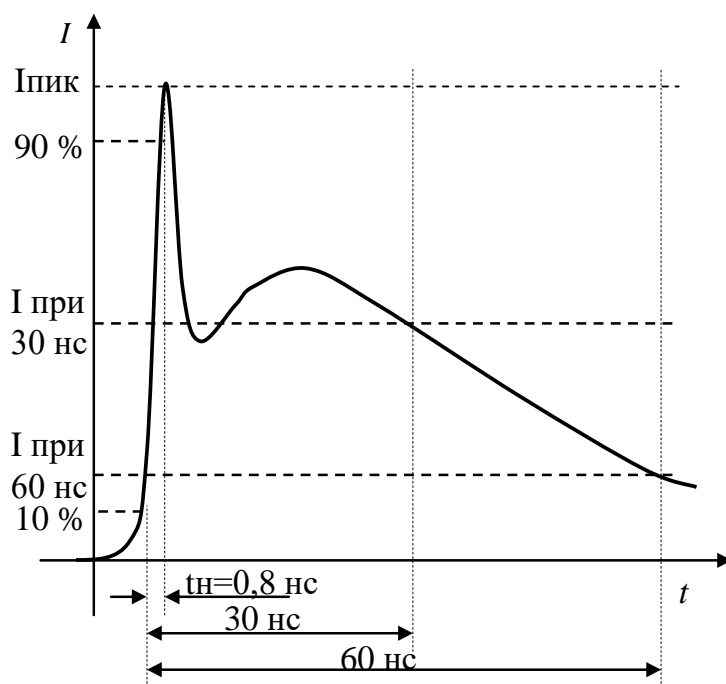


Рис. 2. Регламентированная форма тока ЭСР.

## 2. Моделирование электромагнитных помех от ЭСР

Для аналитического описания нормированной формы тока ЭСР предлагается использовать следующую математическую модель [19]:

$$I(t) = I_0 \left( 1 - e^{-\frac{t}{\tau_1}} \right)^p e^{-\frac{t}{\tau_2}} + I_1 \left( 1 - e^{-\frac{t}{\tau_3}} \right)^q e^{-\frac{t}{\tau_4}} + I_2 \left( 1 - e^{-\frac{t}{\tau_5}} \right)^g e^{-\frac{t}{\tau_6}},$$

где,  $I_0$ - $I_2$  – коэффициенты, определяющие величину тока;  $\tau_1$ - $\tau_6$ ,  $p$ ,  $q$ ,  $g$  – коэффициенты, определяющие требуемую форму тока. Например, для величины напряжения ЭСР 4 кВ данные параметры следующие:  $I_1=25$ ;  $I_2=80$ ;  $I_3=8$ ;  $\tau_1=0,4$ ;  $\tau_2=3,708$ ;  $\tau_3=30$ ;  $\tau_4=10,91$ ;  $\tau_5=10$ ;  $\tau_6=74,76$ ;  $p=5,93$ ;  $q=2$ ;  $g=2$ .

При этом наиболее опасным является непосредственное воздействие источника ЭСР на проводящие элементы конструкции, например, проходные стойки СКУД и электромагнитные помехи образуются за счет токов стекания. Для исследования данного случая предлагается имитационная модель на основе эквивалентной схемы, представленной на рис. 3.

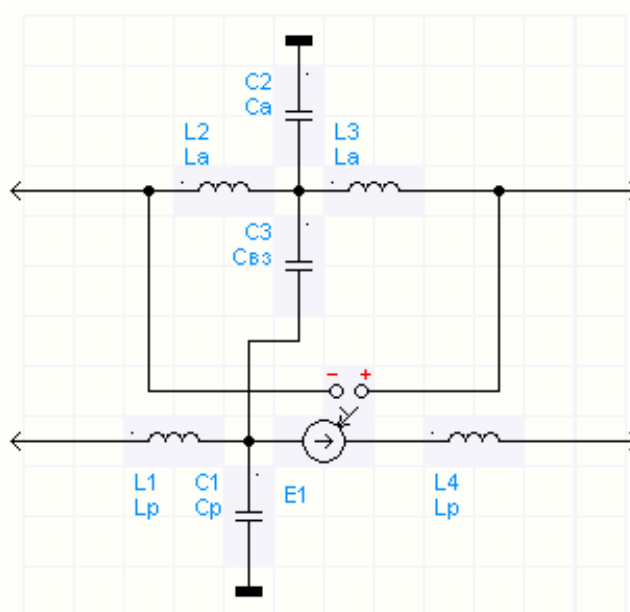


Рис. 3. Эквивалентная схема для моделирования помех при ЭСР.

В данной модели реализовано электрическое (через взаимную емкость  $C_{вз}$ ) и магнитное (через взаимную индуктивность  $E1$ ) взаимодействие токов стекания ЭСР в элементе конструкции (активная линия) с линией связи внутри проходной стойки СКУД (пассивная линия). Где:  $C_a$ ,  $L_a$  – емкость и индуктивность фрагмента активной линии, соответственно;  $C_p$ ,  $L_p$  – емкость и индуктивность фрагмента пассивной линии, соответственно. Длина линии связи 1 м, эквивалентные нагрузки на концах 50 Ом. Имитационная модель реализована в программе схемотехнического моделирования ПА-9 [30].

На рис. 4 представлены примеры электромагнитных помех в линии связи

СКУД при воздействии ЭСР напряжением 4 кВ на проводящий элемент конструкции.

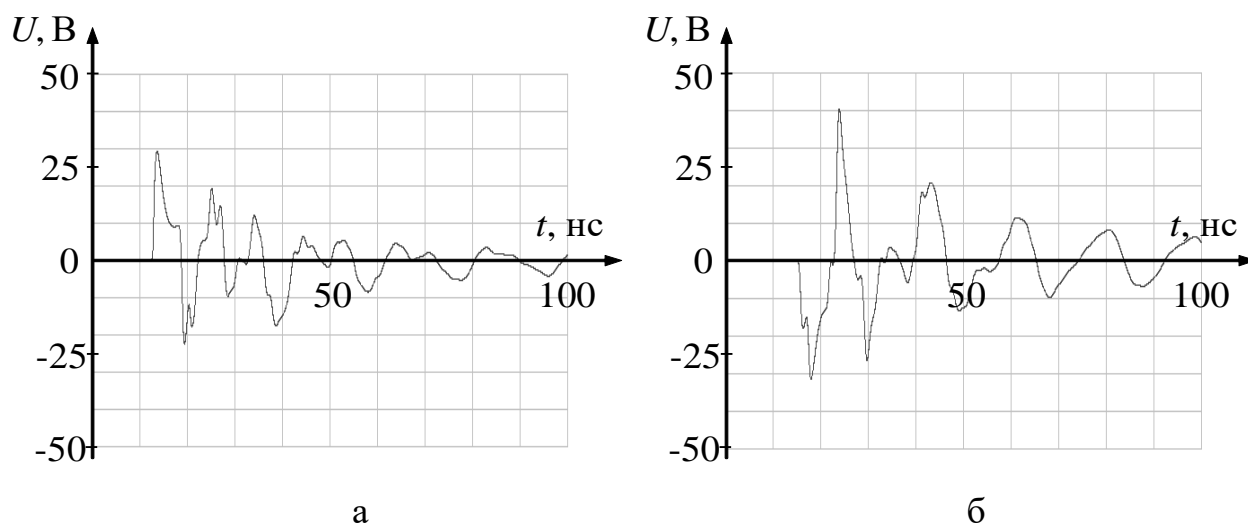


Рис. 4. Примеры электромагнитных помех в линии связи СКУД при воздействии ЭСР (а – в начале линии, б – в конце линии).

В рассматриваемом примере моделируемые электромагнитные помехи имеют следующие параметры: максимальная амплитуда 29-40 В, длительность единичных импульсов 6-8 нс, общая длительность колебаний достигает 100-150 нс (с частотой около 80 МГц). В соответствии с этими параметрами электромагнитной помехи в линии связи СКУД, проведем оценку качества функционирования элементов СКУД:

- энергия моделируемых электромагнитных помех не превышает  $10^{-6}$  –  $10^{-5}$  Дж, что не может привести к необратимому повреждению основных типов элементов СКУД [7, 26, 31] т.е. нарушение функционирования по критерию качества функционирования «D» отсутствует [29];

- длительность электромагнитных помех больше длительности информационных сигналов (например, 15 нс). Поэтому необходимо сравнивать амплитуду электромагнитных помех с уровнем статической помехоустойчивости элементов СКУД [26]. Результаты сравнения указывают, что для основных типов цифровых элементов может произойти ложное переключение. Данное явление может привести к нарушению функционирования элементов СКУД по критерию «B» или «C» [29].

### 3. Повышение помехоустойчивости СКУД при воздействии ЭСР

Оценка качества функционирования элементов СКУД показывает, что электромагнитные помехи от ЭСР могут привести к нарушению их помехоустойчивости. Поэтому необходимо выбрать другие параметры линий связи и элементов, а также принять дополнительные меры защиты, которые позволяют уменьшить электромагнитные помехи. Ниже приводятся рекомендации по устранению влияния помех от ЭСР на различных этапах жизненного цикла элементов и устройств СКУД, которые в сжатом виде систематизируют ранее рассмотренные методы и способы [18, 19, 26, 27, 32-36] (рис. 5).



Рис. 5. Этапы повышения помехоустойчивости СКУД при воздействии ЭСР.

Этап схемотехнического проектирования: по возможности необходимо использовать элементы с повышенной динамической и статической помехоустойчивостью; быстродействие микросхем не должно быть больше, чем это необходимо для выполнения ими заданных функций в СКУД; в схемах не должны использоваться элементы, работающие в режимах, близких к предельным; для цепей интерфейса следует предусмотреть возможность установки фильтров; микроконтроллеры должны иметь сторожевые таймеры для защиты от сбоев.

Этап конструкторского проектирования (компоновка и монтаж): необходимо отделять чувствительные входы от линий, в которых могут распространяться сигналы от ЭСР; незадействованные выводы должны быть соединены с землей или питанием; следует стремиться к минимизации длин проводников; стараться использовать экранированные линии связи и линии сети вторичного электропитания; экранирующая оболочка кабеля должна соединяться с корпусом на обоих концах кабеля; если на одном конце кабеля нет возможности заземлить экран, то соединять экранирующую оболочку кабеля с «логической землей» следует через высокочастотный конденсатор; соединение экрана кабеля или провода с корпусом экранирующего соединителя должно быть по всей окружности экрана; путь тока в проводнике, вызванного ЭСР, не должен проходить через помехоподавляющий ферритовый элемент, внутри которого расположены другие проводники; лучше, если путь тока ЭСР вообще не проходит через ферриты; в плоском кабеле провод логической земли должен располагаться рядом с каждым сигнальным проводом, а чувствительные линии должны находиться в центре кабеля.

Разработка печатных плат: следует максимально заполнять поверхность платы заземленными участками фольги; в многослойных печатных платах для цепей земли и питания необходимо использовать отдельные слои; блокировочные конденсаторы следует устанавливать в непосредственной близости около выводов питания микросхем; индуктивность их выводов должна быть минимальна; лучший вариант – применение компонентов для монтажа на поверхность; при компоновке печатных плат следует применять принцип зонирования: отделять высокочастотные и восприимчивые узлы от низкочастотных и мощных.

Разработка корпусов и экранов для устройств СКУД: металлические части корпуса должны быть заземлены; неизолированные и незаземленные металлические части корпуса должны находиться не ближе 3 мм от открытых электронных компонентов и проводников; корпуса и шасси не должны иметь острых краев и углов на своих металлических элементах, так как они



провоцируют вторичные дуговые разряды; проектировать корпуса необходимо таким образом, чтобы посетители не могли приблизиться к открытым незаземленным металлическим частям, электронным компонентам или проводам ближе, чем на 2 см. Объект с заземленным шасси не должен находиться между посетителями и электронными устройствами. Незаземленные крепежные и установочные изделия представляют собой особо опасный путь попадания ЭСР в систему; конструкция корпуса не должна препятствовать выполнению требований по проектированию печатных плат; контактирующие материалы должны находиться в электрохимическом ряду напряжений близко друг к другу; материала, имеющего более положительный электродный потенциал, должно быть больше, чем материала, у которого электродный потенциал отрицательней; через контакт материалов не должен протекать постоянный электрический ток; для предотвращения искрения воздушный зазор между проводами и корпусом или контактными штырями разъема и другими проводами должен быть не менее 3 мм; при использовании экранированных проводов и кабелей их экраны следует соединять с заземленным шасси; заземление должно обладать минимальным полным сопротивлением; толщина экрана должна превышать толщину скин-слоя для максимальной частоты в спектре ЭСР (порядка 1 ГГц); как правило, толщина материала, выбранного из конструкторских соображений, удовлетворяет этому условию; щели и отверстия в корпусе не должны иметь максимальный размер более 2 см; в экране следует выполнять несколько малых отверстий вместо одного большого; расстояние между отверстиями не должно быть меньше диаметра наибольшего отверстия; не следует располагать щель или отверстие в экране около точки крепления экрана кабеля, а также около чувствительных цепей и приборов; швы экранов должны электрически соединяться в точках, расположенных на расстоянии не более 30-50 мм, что минимизирует длину щели и повышает эффективность экранирования; шов экрана должен выполняться внахлест, и его размер должен быть по крайней мере в 5 раз шире зазора и равен расстоянию между точками контакта; для заполнения щелей в

швах и разъемных соединениях элементов корпуса следует применять проводящие прокладки.

Этап испытаний: имитатор (испытательный генератор) ЭСР должен быть разработан так, чтобы он мог должным образом моделировать индуктивность человеческого тела; в основу имитатора должна быть положена адекватная имитационная модель, учитывающая соответствующим образом емкости, индуктивности и сопротивление руки, кисти и пальцев человека; СКУД должен быть физически конфигурирован для имитации реальных условий; СКУД должен однозначно определять отказы, представляющие собой реальные, происходящие в действительности нарушения функционирования; для испытания, соответствующего наихудшим условиям, точки приложения разрядов, как для прямого, так и для косвенного воздействия должны быть выбраны так, чтобы возникающие максимальные токи разряда и поля находились как можно ближе к самым чувствительным местам устройств СКУД; для метода воздушного разряда скорость приближения разрядного наконечника к испытываемому устройству должна быть постоянной, от разряда к разряду; паразитная емкость между испытываемым устройством и землей должна быть постоянной в течение всех испытаний; при непрямом воздействии испытываемое устройство должно быть установлено так, чтобы через него текли максимально возможные токи.

### **Заключение**

В области эксплуатации СКУД существует ряд факторов, которые усиливают накопление статического заряда и в связи этим посетители, например, проходящие через проходные стойки, выступают источниками электромагнитных помех, связанных с электростатическим разрядом.

В работе предложена имитационная модель для анализа электромагнитных помех при воздействии тока ЭСР на проводящий элемент конструкции СКУД. Представленные результаты моделирования дают представление о возможных параметрах электромагнитных помех в линии

связи и о возможном поведении элементов СКУД с точки зрения помехоустойчивости.

Оценка качества функционирования элементов СКУД показывает, что электромагнитные помехи от ЭСР могут привести к нарушению их помехоустойчивости. Поэтому необходимо реализовать меры по снижению помех от ЭСР на различных этапах жизненного цикла элементов и устройств СКУД, которые представлены в последнем разделе статьи.

### Литература

1. Access Control Technologies Handbook. Washington, U.S. Department of Homeland Security. – 2015. – 56 p.
2. Ворона В.А., Тихонов В.А. Системы контроля и управления доступом. М.: Горячая линия-Телеком, 2010. – 272 с.
3. ГОСТ Р 51241-2008. Средства и системы контроля и управления доступом. Классификация. Общие технические требования. М.: Стандартинформ, 2009. 32 с.
4. Шлеймович М.П., Кирпичников А.П., Ляшева С.А., Медведев М.В. Выделение границ на изображениях на основе модели энергетических признаков вейвлет-преобразования // Вестник технологического университета. – 2017. – №21. – С. 103-107.
5. Гут Р.В., Кирпичников А.П., Ляшева С.А., Шлеймович М.П. Методы ранговой фильтрации в системах видеонаблюдения // Вестник технологического университета. – 2017. – №17. – С. 71-73.
6. Шлеймович М.П., Ляшева С.А., Кирпичников А.П. Вычисление признаков изображений на основе вейвлет-преобразования // Вестник Казанского технологического университета. – 2015. – №18. – С. 223-228.
7. Henry O.W. Electromagnetic Compatibility Engineering. New Jersey: John Wiley & Sons, 2009. 872 с.
8. Шкиндеров М.С., Нуриев М.Г., Гизатуллин З.М. Сквозное прогнозирование помехоустойчивости систем контроля и управления при внешних

- электромагнитных воздействиях // Вестник Казанского государственного энергетического университета. – 2016. – №2. – С. 26-37.
9. Гизатуллин З.М. Электромагнитная совместимость электронных средств объектов электроэнергетики при внешних электромагнитных воздействиях по сети питания // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2007. – №9-10. – С. 37-45.
10. Гизатуллин З.М., Гизатуллин Р.М., Зиатдинов И.Н. Анализ функционирования вычислительной техники при воздействии электромагнитных помех по сети электропитания // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2015. – №7-8. – С. 98-105.
11. Гизатуллин З.М., Нуриев М.Г., Шкиндеров М.С., Назметдинов Ф.Р. Простая методика исследования электромагнитного излучения от электронных средств // Журнал радиоэлектроники. – 2016. – №9. Режим доступа <http://jre.cplire.ru/jre/sep16/8/text.pdf>.
12. Гизатуллин З.М., Набиев И.И., Шкиндеров М.С. Помехоустойчивость локальных вычислительных сетей при внешних электромагнитных воздействиях // Телекоммуникации. – 2017. – №2. – С. 41-47.
13. Гизатуллин З.М., Нуриев М.Г., Гизатуллин Р.М. Физическое моделирование помехоустойчивости электронных средств при электромагнитном воздействии промышленных макроисточников // Радиотехника и электроника. – 2018. – №1. – С. 97-102.
14. Гизатуллин З.М., Гизатуллин Р.М., Шкиндеров М.С., Нуриев М.Г., Салимов Р.И. Моделирование электромагнитных помех в неэкранированной витой паре при внешних электромагнитных воздействиях // Журнал радиоэлектроники. – 2016. – №12. – С. 1. Режим доступа <http://jre.cplire.ru/jre/dec16/1/text.pdf>
15. Шкиндеров М.С. Исследование функционирования системы контроля и управления доступом при воздействии наносекундных электромагнитных помех по сети электропитания // Технологии электромагнитной совместимости. – 2019. – №3. – С. 60-70.

16. Гизатуллин З.М., Фазулянов Ф.М., Шувалов Л.Н., Гизатуллин Р.М. Целостность информации в USB флэш-накопителе при воздействии импульсного магнитного поля // Журнал радиоэлектроники. 2015. – №8. <http://jre.cplire.ru/jre/aug15/8/text.pdf>
17. Шкиндеров М.С., Гизатуллин З.М. Информационная безопасность вычислительной техники при воздействии преднамеренных электромагнитных помех // Информация и безопасность. – 2017. – №3. – С. 452-455.
18. Boxleither W. Electrostatic discharge and electronic equipment: a practical guide for designing to prevent ESD problems. New York: IEEE press, 1988. 118 p.
19. Шкиндеров М.С., Гизатуллин З.М. Исследование функционирования системы контроля и управления доступом в условиях воздействия электростатических разрядов // Радиотехника и электроника. – 2018. – №11. – С. 1181-1187.
20. Кузнецов В.В., Кечиев Л.Н. Исследование стойкости печатных узлов к воздействию электростатического разряда // Технологии электромагнитной совместимости. – 2013. – №1. – С. 29-38.
21. Кириллов В.Ю., Марченко М.В., Томилин М.М. Стендовые испытания элементов и устройств космических аппаратов на воздействие электростатических разрядов // Вестник Московского авиационного института. 2017. – № 4. – С. 170-175.
22. Гизатуллин З.М., Гизатуллин Р.М. Экспериментальные исследования помехоустойчивости персонального компьютера при импульсном разряде статического электричества // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева . – 2011. – №3. – С. 78-83.
23. Гизатуллин З.М. Электромагнитная совместимость электронно-вычислительных средств при воздействии электростатического разряда // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2009. – №1-2. – С. 104-112.
24. Кузнецов В.В., Кечиев Л.Н., Абрамешин А.Е. Экспериментальное

- исследование формы тока ЭСР при разряде с печатной платой // Технологии электромагнитной совместимости. – 2014. – №1. – С. 46-52.
25. Кириллов В.Ю., Томилин М.М. Расчет напряженности электрического и магнитного полей от электростатических разрядов // Технологии электромагнитной совместимости. – 2017. – №2. – С. 15-24.
26. Кечиев Л.Н., Пожидаев Е.Д. Защита электронных средств от воздействия статического электричества. М.: Издательский дом «Технологии», 2005. – 352 с.
27. Gizatullin R.M., Gizatullin Z.M., Shkinderov M.S., Khuziyakhmetova E.A. The Analysis of the Noise Immunity of an Electronic Device under the Action of Electrostatic Discharge // 2018 14th International Scientific-Technical Conference on Actual Problems of Electronic Instrument Engineering (APEIE) – 44894, Novosibirsk, Russia, Vol. 1, Part 3, P. 332-335.  
<https://doi.org/10.1109/APEIE.2018.8545943>
28. ГОСТ Р 20009-2000. Совместимость технических средств электромагнитная. Технические средства охранной сигнализации. Требования и методы испытаний. М.: Издательство стандартов, 2001. – 12 с.
29. ГОСТ 30804.4.2-2013. Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к электростатическим разрядам. Требования и методы испытаний. М.: Стандартинформ, 2013. – 46 с.
30. Жук Д.М., Маничев В.Б., Ильницкий А.О. Методы и алгоритмы решения дифференциально-алгебраических уравнений для моделирования систем и объектов во временной области // Информационные технологии. – 2010. – №7. – С. 16-24.
31. Пирогов Ю.А., Солодов А.В. Повреждения интегральных микросхем в полях радиоизлучения // Журнал радиоэлектроники. – 2013. – №6. Режим доступа <http://jre.cplire.ru/jre/jun13/15/text.pdf>.
32. Chernikova E.B., Belousov A.O., Gazizov T.R., Zabolotsky A.M. Using reflection symmetry to improve the protection of radio-electronic equipment from ultrashort pulses // Symmetry. – 2019. – No. 7. – pp. 883.

33. Жечев Е.С., Черникова Е.Б., Белоусов А.О., Газизов Т.Р. Экспериментальные исследования зеркально-симметричного модального фильтра во временной и частотной областях // Системы управления, связи и безопасности. – 2019. – № 2. – С. 162-179.
34. Гизатуллин З.М., Гизатуллин Р.М., Нуриев М.Г., Назметдинов Ф.Р. Снижение электромагнитных помех и защита информации в вычислительной технике с помощью экранирующих стекол // Вестник Казанского государственного энергетического университета. – 2017. – №3. – С. 46-57.
35. Gizatullin R.M., Suetina T.A. Noise Immunity of Computer Equipment with Dynamic Changes in Power Supply Voltage // 2019 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon), Vladivostok, Russia, 2019, P. 1-4.  
<https://doi.org/10.1109/FarEastCon.2019.8934266>
36. Gizatullin Z.M., Shkinderov M.S. Research of Noise Immunity of Computing Equipment under Exposure of Electrostatic Discharge // Proceedings of 2019 International Russian Automation Conference (RusAutoCon), Sochi, Russia, 2019, pp. 1-5. <https://doi.org/10.1109/RUSAUTOCON.2019.8867761>

**Для цитирования:**

Сафина Р.М., Шкиндеров М.С. Повышение помехоустойчивости системы контроля и управления доступом при воздействии электростатического разряда. Журнал радиоэлектроники [электронный журнал]. 2020. №8. <https://doi.org/10.30898/1684-1719.2020.8.10>