

УДК 621.391.825; 004.056

## **ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ ПРИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ ЧЕРЕЗ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИИ ЗДАНИЯ**

**Р. М. Гизатуллин, А. А. Мухаммадиев, Э. С. Константинов, Э. А. Хузияхметова**  
**Казанский национальный исследовательский технический университет**  
**им. А. Н. Туполева – КАИ, 420111, г. Казань, ул. К. Маркса, д.10**

Статья поступила в редакцию 11 октября 2018 г.

**Аннотация.** Важной частью проблемы защиты информации в вычислительной технике является задача искажения, блокирования или потери информации при воздействии преднамеренных электромагнитных помех. Одним из основных путей преднамеренного электромагнитного воздействия на функционирование вычислительной техники являются элементы металлоконструкции здания, внутри которых они эксплуатируются. Элементы металлоконструкции здания – арматура, металлические трубопроводы горячей и холодной воды, отопления, проводники молниеотводов и другие. Исследование электромагнитных воздействий через металлоконструкции зданий путем полномасштабных натурных испытаний связано с трудностями с изготовлением имитаторов электромагнитного поля в реальном масштабе. Для физического моделирования, в настоящее время, отсутствуют регламентированные методики. Поэтому, для случая физических испытаний относительно небольших вычислительных средств рекомендуется использовать альтернативные методы. В работе проводится моделирование электромагнитных помех в линиях связи вычислительной техники при воздействии непрерывных и импульсных токов на элементы металлоконструкции здания альтернативным методом. Предложены методы для прогнозирования помехоустойчивости вычислительной техники при воздействии моделируемых электромагнитных помех.

**Ключевые слова:** защита информации, преднамеренная электромагнитная помеха, вычислительная техника, металлоконструкция здания, моделирование, прогнозирование.

**Abstract.** An important problem of protecting information in computers is the problem of distortion, blocking or loss of information when exposed to intentional electromagnetic interference. The intentional electromagnetic impacts through the metal structures of the building one of the main ways of effects on the functioning of computers. Elements of metal structures of the building - fittings, metal pipes of hot and cold water, heating, lightning conductors and others. The study of electromagnetic effects through metal structures of buildings through full-scale tests is associated with difficulties in the manufacture of electromagnetic field simulators in real scale. For physical modeling, at present, there are no regulated techniques. Therefore, for the case of physical testing of relatively small computers, it is recommended to use alternative methods. The task of modeling electromagnetic interference in computers using an alternative method under the influence of continuous and pulsed currents on the elements of the metal structure of a building is discussed in the article. Methods for predicting the noise immunity of computers under the influence of simulated electromagnetic interference are proposed.

**Key words:** information security, intentional electromagnetic interference, computer, metal structure of the building, modeling, forecasting.

## 1. Введение

Одной из наименее изученных задач, в рамках проблемы защиты информации в вычислительной технике (ВТ), является преднамеренное электромагнитное воздействие через элементы металлоконструкции здания. В литературе [1-4] данная задача обозначена в рамках новых национальных стандартов по защите информации и развита участниками рабочей группы «Защита информации от специального воздействия» сформированной в составе Технического комитета по защите информации (ТК 362).

Понятие металлоконструкций здания включают: технические

коммуникации (металлические трубопроводы горячей и холодной воды, отопления и т.д.), конструктивные элементы зданий (элементы металлического каркаса здания – арматура и т.д.), заземляющие устройства (контуры рабочего и защитного заземления, проводники молниеотводов), устройства экранирования коммуникаций, технических средств и т.д.

Физические испытания ВТ на устойчивость к преднамеренному электромагнитному воздействию по металлоконструкциям предполагаются путем подачи соответствующих воздействий от имитаторов данных воздействий на проводящие контура, образованные элементами металлоконструкций здания. Конфигурации данных контуров отдельно определяются в каждом конкретном испытании, чтобы охватывалось наибольшая площадь помещений здания с ВТ. Также необходимо, чтобы элементы металлоконструкций, которые образуют контур, были бы максимально приближены к ВТ. Но исследования электромагнитных воздействий через металлоконструкции путем полномасштабных натуральных испытаний часто связано с трудностями с изготовлением имитаторов электромагнитного поля в реальном масштабе и сложностями получения воспроизводимых результатов в связи с неоднозначностью конфигурации исследуемого объекта. В данном случае возможно применение физического моделирования [5-10], но в настоящее время отсутствуют регламентированные методики его проведения.

Целью данной работы является разработка методики и математических моделей для прогнозирования помехоустойчивости ВТ при электромагнитных воздействиях через элементы металлоконструкции здания.

## **2. Параметры электромагнитных воздействий на вычислительную технику через металлоконструкции здания**

В нормативном документе [3] регламентированы основные типовые параметры преднамеренных электромагнитных воздействий на электронные средства через элементы металлоконструкций здания (табл. 1).

Таблица 1. Значения типовых параметров испытательных электромагнитных воздействий через металлоконструкции

№	Вид воздействия	Параметры испытательных воздействий	Степень жесткости			
			I	II	III	IV
1	Токи большой длительности в непрерывном режиме	Действующее значение тока (при сопротивлении нагрузки 0,3 Ом), кА	0,1	0,2	0,4	1
		Длительность воздействия, сек	60	60	60	60
2	Токи большой длительности в импульсном режиме	Длительность импульса, мс	5	5	10	10
		Действующее значение тока (при сопротивлении нагрузки 0,3 Ом), кА	1	2	2	5
3	Импульсные токи большой длительности	Длительность импульса, мс	5	10	20	50
		Амплитудное значение тока (при сопротивлении нагрузки 0,3 Ом), кА	2	2,5	2,5	2,5
4	Импульсные токи малой длительности	Длительность импульса, мс	0,2	1	4	5
		Амплитуда тока (при сопротивлении нагрузки 3 Ом), кА	1,25	1,5	1,5	2,5
5	Высоковольтные однократные наносекундные импульсы напряжения	Длительность импульса на нагрузке 50 Ом, нс	250	100	100	100
		Напряжение на нагрузке 50 Ом, кВ	50	150	150	150
		Частота следования, Гц/длительность пачки, сек	10/ 1	10/1	10/ 1	10/ 1

В данной таблице существенно отличается пятый вид электромагнитного

воздействия. Альтернативным подходом в данном случае является непосредственное воздействие источника электростатического разряда на ВТ [11-13]. При этом частотный диапазон электромагнитного воздействия достигает до 1 ГГц и данное воздействие требует отдельного изучения. Воздействие высоковольтных однократных наносекундных импульсов напряжения имитируется воздействием воздушного или контактного электростатического разряда непосредственно на ВТ с повышенной до 10...100 Гц частотой следования разрядов. Напряжение воздействия на корпус, входы электропитания и сигнальные входы может достигать 200 кВ. Воздействие на соединительные кабели осуществляется с помощью емкостных клещей по ГОСТ Р 51317.4.4 [14], рассчитанных на напряжение 50-150 кВ.

### **3. Методика исследования электромагнитного воздействия на вычислительную технику через металлоконструкции зданий**

Связи со сложностями полномасштабных исследований, в нормативном документе [3], для случая физических испытаний относительно небольших электронных средств рекомендуется использовать альтернативные методы в лабораторных условиях. Например, случай воздействия токов большой длительности в непрерывном режим предлагается имитировать воздействием переменного магнитного поля промышленной частоты с напряженностью до 100 А/м. Поле создается системой катушек (кольца Гельмгольца) вокруг ВТ. Характеристики катушек и рабочее место для проведения физических испытаний регламентируется ГОСТ Р 50648-94 [15]. Воздействие токов большой длительности в импульсном режиме, импульсных токов большой и малой длительности имитируется воздействием импульсного магнитного поля с напряженностью до 1 кА/м. Поле также создается системой катушек вокруг ВТ. Характеристики катушек и рабочее место для проведения физических испытаний регламентируются по ГОСТ Р 50649-94 [16]. Во всех случаях электромагнитная развязка с окружающей средой осуществляется с помощью экрана, окружающего рабочее место для испытаний (экранированного помещения).

Таким образом, основные виды электромагнитных воздействий через элементы металлоконструкций здания имитируются путем использования колец Гельмгольца, создающих периодические или импульсные магнитные поля вокруг ВТ. Частотный спектр данных магнитных полей не превышает нескольких десятков кГц. Следовательно, электромагнитные процессы в линиях связи ВТ при данных воздействиях можно исследовать с позиции квазистационарности, т.е. когда влияние магнитного (как в данном случае, токового источника) и электрического полей можно рассматривать отдельно.

#### 4. Моделирование помех в линии связи вычислительной техники при электромагнитном воздействии через металлоконструкции

Основными «приемниками» электромагнитных помех в составе ВТ являются межсистемные и межблочные линии связи, расположенные вне экранирующих корпусов современных устройств. Линии связи ВТ представляют собой контура образованные информационными и обратными проводниками (рис. 1а), которые, для учета влияния внешнего магнитного поля, можно представить в виде эквивалентной схемы замещения (рис. 1б) [17]. При этом предполагается, что вектор напряженности магнитного поля перпендикулярен плоскости контура. При любой другой ориентации контура величина электромагнитной помехи заведомо меньше прогнозируемой.

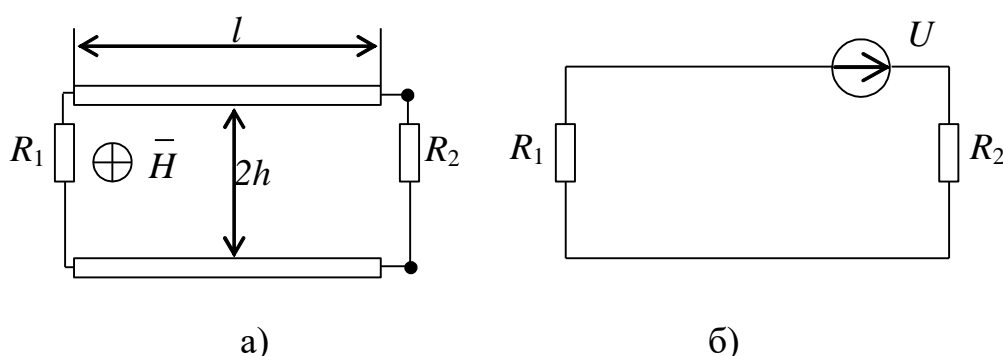


Рис. 1. Физическая модель линии связи в ВТ (а) и эквивалентная схема замещения (б) для учета влияния внешнего магнитного поля

В данном случае, напряжение электромагнитных помех  $U(t)$  в линиях связи ВТ при воздействии периодических или импульсных магнитных полей может быть спрогнозировано с помощью следующих выражений [17]:

$$U(t) = \frac{H_{\max} \cdot \mu_0 \cdot S_K \cdot \omega \cdot R_{OB}}{z} \{ \cos(\omega t - \varphi - \psi) - \exp(-\alpha t) \times \\ \times [(\frac{\alpha^2 - \beta^2}{\beta \cdot \omega}) \operatorname{sh} \beta \cdot t \sin(\varphi - \psi) + (\frac{\alpha}{\beta} \operatorname{sh} \beta \cdot t + \operatorname{ch} \beta \cdot t) \cos(\varphi - \psi)] \},$$

где  $z = \sqrt{R_{OB}^2 (1 - \omega^2 LC) + (\omega L)^2}$ ;  $R_{OB} = R_1 R_2 / (R_1 + R_2)$ ;  $\beta = \sqrt{\alpha^2 - \omega_p^2}$ ;  $\alpha = [(R_1 + R_2) \cdot C \omega_p^2] / 2$ ;  $R_{1,2}$  – сопротивление нагрузки, Ом;  $L$  – индуктивность линии связи, Гн;  $C$  – емкость линии связи;  $\varphi$  – угол, определяемый из выражения  $\varphi = \operatorname{arctg}\{[\omega L / (R_{OB} (1 - \omega^2 / \omega_p^2))]\}$  для  $\pi \geq \varphi \geq 0$ ;  $\omega_p$  – резонансная частота линии связи,  $\omega_p = \sqrt{1 / (L \cdot C)}$ ;  $H_{\max}$  – максимальное значение магнитной напряженности поля помехи, А/м;  $S_K$  – площадь контура, м<sup>2</sup>;  $\mu_0$  – магнитная постоянная ( $4\pi \cdot 10^{-7}$ ). Учитывая, что  $[(L \omega_p)^2 / (4 \cdot R_{OB}^2)] \gg 1$  и  $\beta \approx \alpha$ , для нулевых начальных условий данное выражение можно представить в виде:

$$U(t) = \frac{H_{\max} \cdot \mu_0 \cdot S_K \cdot \omega \cdot R_{OB}}{z} [\cos(\omega t - \varphi) - \cos \varphi],$$

который и будет использоваться для моделирования помех в линии связи ВТ при электромагнитных воздействиях через элементы металлоконструкции здания.

Например, рассмотрим анализ электромагнитных помех в линиях связи ВТ при преднамеренных электромагнитных воздействиях по металлоконструкциям при следующих исходных данных: ширина контура 1 мм; длина контура 400 мм. Результат моделирования электромагнитных помех в линии связи ВТ при воздействии непрерывного магнитного поля с частотой 50 Гц, в соответствии с [15], приведен на рис. 2. Результат моделирования электромагнитных помех в линии связи ВТ при воздействии импульсного магнитного поля, в соответствии с [16], приведен на рис. 3.

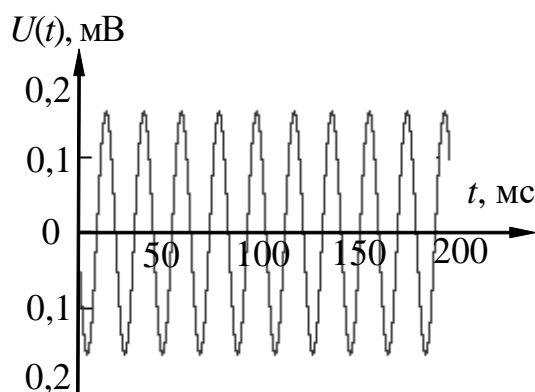


Рис. 2. Результат моделирования электромагнитной помехи в линии связи ВТ при воздействии непрерывного магнитного поля

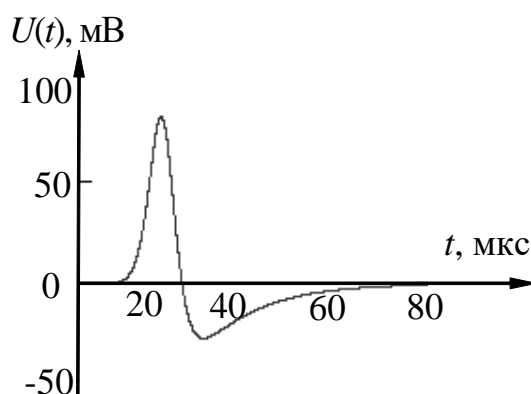


Рис. 3. Результат моделирования электромагнитной помехи в линии связи ВТ при воздействии импульсного магнитного поля

В таблице 2 приведены сводные результаты моделирования электромагнитных помех в линиях связи ВТ при воздействии непрерывных и импульсных магнитных полей в зависимости от площади приемного контура.

Таблица 2. Результаты моделирования электромагнитных помех в линиях связи ВТ

№	Площадь приемного контура, мм <sup>2</sup>	Величина электромагнитных помех, мВ	
		Непрерывное магнитное поле	Импульсное магнитное поле
1	400	0,16	82
2	600	0,24	123
3	800	0,32	164
4	1000	0,4	204
5	2000	0,8	408



Таким образом, результаты моделирования преднамеренных электромагнитных воздействий через металлоконструкции с использованием альтернативных подходов позволяют прогнозировать величину электромагнитных помех в линиях связи ВТ. В данном случае, основным воздействующим фактором являются гармонические или импульсные магнитные поля и, следовательно, величина электромагнитных помех существенно зависит от площади контуров образованных линиями связи ВТ.

### 5. Прогнозирование помехоустойчивости вычислительной техники при электромагнитном воздействии через металлоконструкции

Для прогнозирования помехоустойчивости ВТ необходимо провести сравнение параметров электромагнитных помех в линиях связи с критическими значениями, приводящими к повреждению чувствительных элементов или к их временному нарушению функционирования [18, 19]. В рассматриваемом примере энергия помехи достигает  $10^{-9}$ - $10^{-8}$  Дж, что не должно привести к повреждению основных типов элементов ВТ (табл. 3).

Таблица 3. Энергия повреждения элементов ВТ

№	Электронные элементы	Энергия повреждения, Дж
1	Интегральные схемы	$10^{-7} \div 10^{-3}$
2	Высокочастотные транзисторы	$10^{-6} \div 10^{-3}$
3	Герконы	$10^{-7} \div 10^{-3}$
4	Пленочные резисторы	$10^{-3} \div 10^{-1}$
5	Сигнальные диоды, выпрямители	$10^{-5} \div 10^{-2}$
6	Мощные транзисторы	$10^{-6} \div 1$
7	Композиционные резисторы	$10^{-2} \div 1$
8	Реле	$10^{-6} \div 10^{-4}$
9	Z-диоды и специальные выпрямители	$10^{-2} \div 1$
10	Тиристоры	$10^{-4} \div 10^2$

Временное нарушение функционирования цифровых элементов ВТ

может происходить из-за нарушения их статической или динамической помехоустойчивости. Уровень статической помехоустойчивости определяется основными параметрами цифровых элементов ВТ (табл. 4).

Таблица 4. Параметры основных семейств логических цифровых элементов ВТ

Серия микросхем	Напряжение питания (НП), В	Низкий уровень, В		Высокий уровень, В		Напряжения переключения, В	
		min	max	min	max	min	max
ТТЛ	5±10%		0,8	2,0		1,2	
НВТТЛ	3,3±10%	-0,3	0,8	2,0	НП-0,3	1,2	3,3
GTL	1,2±5%		ОН-0,05	ОН-0,05		0,2	
HSTL	1,5±0,1	-0,3	ОН-0,1	ОН-0,05	НП-0,3	0,2	1,5
ЭСЛ	-5,2±5%	-1,81	-1,62	-1,025	-0,88	0,595	0,93
ПЭСЛ	5,0±5%	3,19	3,38	3,98	4,12	0,6	0,93
НВПЭСЛ	3,3±5%	1,49	1,825	2,24	2,42	0,415	0,93
LVDS		0,9	1,1	1,5	1,7	0,4	0,8

ТТЛ – транзисторно-транзисторная логика; НВТТЛ – низковольтная транзисторно-транзисторная логика; GTL – низковольтная высокоскоростная логика; HSTL – высокоскоростная логика; ЭСЛ – эмиттерно-связанная логика на переключателях тока; ПЭСЛ – позитивная ЭСЛ; НВПЭСЛ – низковольтная позитивная ЭСЛ; LVDS – низковольтная передача дифференциальных сигналов; ОН – опорное напряжение.

Динамическую помехоустойчивость цифровых элементов ВТ можно оценить через вероятность ошибки бита  $P_b(z)$  с помощью следующих выражений [20, 21]:

$$P_b(z) = 0,5 \cdot \left( 1 - \operatorname{erf} \left( \frac{z}{\sqrt{2}} \right) \right),$$

где,  $z = \frac{U_s}{U_{i \max}} \cdot \sqrt{\frac{T_s}{T_i}}$ ,  $U_s$  – амплитуда информационного сигнала;  $T_s$  –

длительность информационного сигнала (бита);  $U_{imax}$  – максимальная амплитуда импульсной помехи;  $T_i = U_{imax}^{-2} \cdot \int_0^{T_{imax}} (U_i(t))^2 dt$  – эквивалентная длительность импульсной помехи;  $T_{imax}$  – максимальная длительность импульсной помехи. Например, с учетом ранее полученных результатов моделирования электромагнитных помех, вероятность ошибки бита можно вычислить при следующих исходных данных: амплитуда информационных сигналов  $U_s = 1,5$  В; длительность информационных сигналов  $T_s = 20$  нс; временная форма электромагнитной помехи – рис. 3; максимальная амплитуда импульсной помехи  $U_{imax} = 0,4$  В; максимальная длительность импульсной помехи  $T_{imax} = 10$  мкс. При данных исходных данных вероятность сбоя в функционировании элемента ВТ составляет  $P_b(z) = 0,365$ .

### Заключение

По результатам прогнозирования помехоустойчивости ВТ при электромагнитных воздействиях через металлоконструкции, можно сделать следующие выводы:

- при наличии трудностей с исследованием электромагнитных помех при воздействии непрерывного или импульсного источника тока на элементы металлоконструкции здания в полном масштабе, возможно использование альтернативных подходов;
- при воздействии импульсного магнитного поля, в связи с наличием более высокочастотных составляющих, в линиях связи ВТ наводится электромагнитная помеха намного большей величины;
- параметры напряжения преднамеренной электромагнитной помехи существенно меньше энергии повреждения элементов ВТ;
- преднамеренная электромагнитная помеха, при рассмотренных исходных данных, с определенной вероятностью может привести к временному нарушению функционирования современных элементов ВТ.

Таким образом, предложенные математические модели и методы позволяют, на ранних этапах разработки, прогнозировать помехоустойчивость

ВТ при электромагнитном воздействии через металлоконструкции здания и, при необходимости, заранее реализовать меры по снижению электромагнитных помех путем применения известных или новых решений [4, 11, 17, 21-29].

### Литература

1. ГОСТ Р 51317.1.5-2009 Совместимость технических средств электромагнитная. Воздействия электромагнитные большой мощности на системы гражданского назначения. – М.: Стандартинформ, 2009. – 40 с.
2. ГОСТ Р 51275 – 2007 Защита информации. Объект информатизации. Факторы, воздействующие на информацию. Общие положения. – М.: Стандартинформ, 2007. – 10 с.
3. ГОСТ Р 52863-2007 Защита информации. Автоматизированные системы в защищенном исполнении. Испытания на устойчивость к преднамеренным силовым электромагнитным воздействиям. Общие положения. – М.: Стандартинформ, 2008. – 34 с.
4. ГОСТ Р 56115-2014. Защита информации. Автоматизированные системы в защищенном исполнении. Средства защиты от преднамеренных силовых электромагнитных воздействий. – М.: Стандартинформ, 2015. – 46 с.
5. Гизатуллин З.М, Нуриев М.Г., Гизатуллин Р.М. Физическое моделирование электромагнитных помех при электромагнитном воздействии на макрообъекты // Журнал радиоэлектроники. – 2015. – №6. – Режим доступа <http://jre.cplire.ru/jre/jun15/1/text.pdf>
6. Гизатуллин З.М., Гизатуллин Р.М., Нуриев М.Г. Методика физического моделирования воздействия разряда молнии на летательные аппараты // Известия высших учебных заведений. Авиационная техника. – 2016. – №2. – С. 3-6.
7. Нуриев М.Г., Гизатуллин З.М., Гизатуллин Р.М. Физическое моделирование электромагнитных помех в беспилотном летательном аппарате при воздействии высоковольтной линии электропередачи // Известия высших учебных заведений. Авиационная техника. – 2017. – №2. – С. 119-125.

8. Gizatullin Z.M., Nuriev M.G., Shleimovich M.P. Physical Modeling of Electromagnetic Interference in Unmanned Aerial Vehicle under Action of Indirect Lightning Strike // Dynamics of Systems, Mechanisms and Machines (Dynamics): Proc. of 11th International Scientific and Technical Conference, Nov. 14-16, Omsk, Russia, 2017. P. 1-4.
9. Нуриев М.Г., Гизатуллин З.М. Физическое моделирование преднамеренного электромагнитного воздействия на вычислительную технику через металлоконструкции здания // Информация и безопасность. – 2017. – №3. – С. 456-459.
10. 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.
11. Кечиев Л.Н., Пожидаев Е.Д. Защита электронных средств от воздействия статического электричества. – М.: Издательский дом «Технологии», 2005. – 352 с.
12. Гизатуллин З.М. Электромагнитная совместимость электронно-вычислительных средств при воздействии электростатического разряда // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2009. – №1-2. –С. 104-112.
13. 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.
14. ГОСТ Р 51317.4.4-99. Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к наносекундным импульсным помехам. Требования и методы испытаний. – М.: Издательство стандартов, 2000.–28 с.
15. ГОСТ Р 50648-94. Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к магнитному полю промышленной частоты»: – М.: Изд-во стандартов, 1994. – 29 с.

16. ГОСТ Р 50649-94. Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к импульсному магнитному полю»: – М.: Изд-во стандартов, 1994. – 15 с.
17. Кравченко В.И., Болотов Е.А., Летунова Н.И. Радиоэлектронные средства и мощные электромагнитные помехи. М.: Радио и связь, 1987. – 256 с.
18. Кечиев Л.Н. Проектирование печатных плат для цифровой быстродействующей аппаратуры. М.: ООО «Группа ИДТ», 2007. – 616 с.
19. 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>
20. Здухов Л.Н., Исаев А.П., Парфёнов Ю.В., Титов Б.А. Методика оценки вероятности сбоя цифровых устройств при воздействии сверхкоротких электромагнитных импульсов // Журнал радиоэлектроники. – 2011. – №5. Режим доступа <http://jre.cplire.ru/jre/may11/1/text.pdf>
21. Henry O.W. Electromagnetic Compatibility Engineering. – New Jersey: John Wiley & Sons, 2009. 872 p.
22. Гизатуллин З.М., Гизатуллин Р.М., Назметдинов Ф.Р., Набиев И.И. Повышение помехоустойчивости электронных средств при электромагнитных воздействиях по сети электропитания // Журнал радиоэлектроники. – 2015. – №6. – Режим доступа <http://jre.cplire.ru/jre/jun15/14/text.pdf>
23. Газизов А.Т., Заболоцкий А.М., Газизов Т.Р. Разложение сверхкороткого импульса в структурах с лицевой связью // Известия высших учебных заведений. Физика. – 2017. – №3. – С. 70-75.
24. Гизатуллин З.М., Гизатуллин Р.М., Зиатдинов И.Н., Шарафутдинов И.И. Помехоустойчивость средств вычислительной техники при динамических изменениях напряжения сети электропитания // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2013. – №1-2. – С. 105-115.
25. Гизатуллин З.М. Повышение эффективности экранирования металлических корпусов электронных средств // Технологии электромагнитной

совместимости. – 2010. – № 3. – С. 37–43.

26. Гизатуллин З.М. Снижение электромагнитных помех в межсоединениях многослойных печатных плат // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. – 2012. – №2. – С. 199-205.
27. Гизатуллин З.М., Гизатуллин Р.М., Зиатдинов И.Н. Моделирование электромагнитного воздействия на электронные средства по сети электропитания здания // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2014. – №7-8. – С. 104-110.
28. 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.
29. 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.

**Для цитирования:**

Р. М. Гизатуллин, А. А. Мухаммадиев, Э. С. Константинов, Э. А. Хузияхметова. Прогнозирование помехоустойчивости вычислительной техники при электромагнитных воздействиях через металлоконструкции здания. Журнал радиоэлектроники [электронный журнал]. 2018. № 10. Режим доступа: <http://jre.cplire.ru/jre/oct18/12/text.pdf>  
DOI 10.30898/1684-1719.2018.10.12