

УДК 621.396

## ПРОБЛЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ ЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ

*Панасюк Н.А.*

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,  
г. Минск, Республика Беларусь*

*Научные руководители: Алексеев В.Ф. – канд.техн.наук, доцент, Пискун Г.А. – канд.техн.наук, доцент*

**Аннотация.** Выполнен анализ современного состояния проблемы обеспечения электромагнитной совместимости электронных систем. Показан подход к определению роли и значения характеристик ЭМС при решении задачи обеспечения помехозащищенности. Отмечается, что методы и способы обеспечения ЭМС во многих случаях связаны с реализацией требований специальной НТД, в том числе стандартов, регламентирующих соответствующие организационные и технические мероприятия.

**Ключевые слова.** Электронная система, электромагнитная совместимость, непреднамеренные электромагнитные помехи, электромагнитная обстановка, радиочастотный ресурс, моделирование.

**Введение.** Из-за непрерывного увеличения числа сложных изделий, состоящих из интегральных микросхем (ИМС) различной степени интеграции, рассмотрение вопросов обеспечения электромагнитной совместимости (ЭМС) электронных систем (ЭС) является актуальной задачей.

Для обеспечения качества изделия при его разработке необходимо обязательно учитывать проблемы, которые создают различные виды электромагнитных помех (ЭМП) [1–10].

**Основная часть.** Анализ современного состояния проблемы обеспечения ЭМС ЭС показывает, что можно выделить основные аспекты, которые определяют ее научно-техническую основу. Рассмотрим содержание этих аспектов [1–10].

*Радиочастотный ресурс (РЧР)* предполагает изучение условий пользования радиоканалами различными радиослужбами и разработка принципов управления ресурсом, включая экономические концепции; установление закономерностей дальнейшего использования РЧР (прогнозирование); совершенствование международной и национальной нормативно-технической документации (НТД), относящейся к пользованию ресурсом.

Международный документ «Регламент радиосвязи», определяющий возможную загрузку отдельных полос частот во всех диапазонах РЧР, подчеркивает принципиальную ограниченность этого ресурса и устанавливает необходимость его защиты «от загрязнения» помехами. Согласованные организационные мероприятия являются составной частью комплекса мероприятий по обеспечению ЭМС ЭС.

*Непреднамеренные электромагнитные помехи (НЭМП).* При рассмотрении проблем от данного вида помех предполагается выявление источников и определение энергетических, частотных и временных характеристик НЭМП; статистический анализ, обусловленный вероятностным характером помех; моделирование и изучение влияния среды на их распространение; изучение особенностей влияния НЭМП на работу различных приемников; совершенствование методов и средств измерений помех; создание научно-технической документации (НТД) на допустимые уровни помех и реализацию соответствующих стандартных требований. Очевидно, что число систем, использующих радиоканалы и устройства электронной техники, будет непрерывно возрастать, что приведет к возрастанию НЭМП и трудностям пользования РЧР вследствие его ограниченности, что влечет за собой необходимость совершенствования методов и способов помехозащищенности.

*Характеристики ЭМС* предполагают выявление характеристик ЭМС различных радиоэлектронных, электротехнических и электронных средств, определение значений их величин, в том числе статистических, классификация и моделирование характеристик; создание НТД, регламентирующей допустимые характеристики, и реализация требований такой НТД в процессах разработки, производства и эксплуатации различных средств.

Технические характеристики любой ЭС можно разделить на две группы. К первой группе, например, можно отнести мощность радиопередатчика и чувствительность приемника. Ко второй – мощность побочного излучения на частоте гармоники передатчика и восприимчивость приемника к помехе на частоте побочного канала приема. Одной из причин возникновения проблемы ЭМС является несовершенство характеристик ЭМС различных ЭС.

Анализ характеристик ЭМС различных ЭС, включая их экспериментальные исследования, привел к созданию инженерных методов расчета и научному обоснованию возможности совершенствования таких характеристик [3].

Подход к определению роли и значения какой-либо характеристики ЭМС при решении задачи обеспечения ЭМС зависит от уровня, на котором решается задача. Принято рассматривать три уровня: межсистемной ЭМС – обеспечение ЭМС между отдельными автономными системами (например, системой космической радиосвязи и радиорелейной системой); внутрисистемной ЭМС – обеспечение ЭМС внутри сложного радиоэлектронного комплекса (например, между отдельными средствами, входящими в оборудование летательного аппарата); внутриаппаратурной ЭМС – обеспечение ЭМС внутри отдельного прибора (блока) между его узлами и компонентами (например, внутри блока радиопередатчика или внутри ЭВМ) [2]. Учет требований к ЭМС в процессе конструирования ЭС относится главным образом к двум последним уровням обеспечения ЭМС.

Качество ЭС надо оценивать по совокупности удовлетворения требований к функциональным характеристикам и характеристикам ЭМС. Последние требования должны закрепляться стандартами на характеристики (параметры) ЭМС.

*Электромагнитная обстановка (ЭМО).* Изучение ЭМО необходимо для определения реальных электромагнитных условий, в которых функционирует или должно функционировать конкретное средство при наличии или отсутствии полезного сигнала на его сигнальном входе в случае действия (или возможного действия) НЭМП через этот вход или помимо него. Установление параметров ЭМО может быть аналитическим (прогнозирование) с помощью вероятностных, детерминированных или комбинированных и экспериментальных моделей ЭМО посредством измерения электромагнитных полей сигналов и помех, а также напряжений (токов) в цепях электропитания и коммутационных цепях в заданных частотных, пространственных и временных условиях. В соответствии с тремя уровнями обеспечения ЭМС рассматриваются и три вида ЭМО – созданные между системами, внутри системы (в которой функционируют ее элементы) и внутри аппарата (в которой функционируют его элементы).

*Методы и способы обеспечения ЭМС систем и устройств.* Чтобы обеспечить ЭМС ЭС реализуется комплекс организационных и технических мероприятий. Первые из них относятся главным образом к уровню межсистемной ЭМС и заключаются в рациональном выборе (распределении) частот радиоканалов для различных радиослужб, установлении частотно-пространственного разнесения между ЭС с конкретными характеристиками ЭМС, определении места размещения средств и т.д. При этом выполняются соответствующие расчеты с учетом функциональных характеристик и характеристик ЭМС применяемых ЭС, а также ЭМО.

*Технические мероприятия* делятся на конструкторско-технологические и схемотехнические [1, 3, 5]. Первые из них реализуются в основном на уровнях внутрисистемной и внутриаппаратурной ЭМС, вторые – на всех уровнях обеспечения ЭМС систем и устройств. Такие мероприятия могут быть аналитическими (анализ, расчеты, прогнозирование) и практическими на всех уровнях с учетом реальной ЭМО, в которой функционирует ЭС или ее элементы. Это, например, аналитическое определение частотно-пространственных разнесений

между ЭС конкретной радиослужбы, в так называемых, парных и групповых ситуациях действия помех от радиостанций, прогнозирование помех внутри сложного комплекса средств (например, в бортовом комплексе самолета) или между узлами блока (прибора), расчет эффективности устройств помехоподавления и пр.

Методы и способы обеспечения ЭМС во многих случаях связаны с реализацией требований специальной НТД, в том числе стандартов, регламентирующих соответствующие организационные и технические мероприятия.

*Измерения и испытания в области ЭМС.* Развитие комплексной проблемы обеспечения ЭМС систем и устройств привело к новым задачам измерения значений радиотехнических и электротехнических величин, определяющих ЭМО и характеристики (параметры) ЭМС. Новые задачи привели к необходимости создания и промышленного выпуска нетрадиционной измерительной техники и особого испытательного оборудования. Это, например, анализаторы статистических распределений характеристик помех, стандартные измерители промышленных помех и нестандартные регистраторы и имитаторы помех от нестационарных процессов в сетях питания, а также специальные камеры для испытаний устройств на создаваемые помехи и на влияние НЭМП от имитаторов помех с регламентированными характеристиками. Возникла также потребность в разработке особых методов измерений и испытаний радиоэлектронных, электротехнических и электронных средств. Это, например, статистические методы измерений, позволяющие определять законы распределения вероятностей значений энергетических, частотных и временных характеристик НЭМП от различных источников.

*Методология создания и эксплуатации средств с учетом ЭМС.* Общая концепция методологии основана на системном подходе к решению задачи обеспечения ЭМС, т.е. на выявлении всех факторов, влияющих на ЭМС при совместном функционировании разрабатываемых (эксплуатируемых) ЭС с другими средствами (элементами) заданной системы, определении причин возникновения таких факторов и установлении связей и взаимодействия между ними. Системный подход приводит к многоплановости решения задачи обеспечения ЭМС на различных уровнях (системы, комплексы, аппаратура, элементы) и комплексности решений в двух основных направлениях – повышения помехозащищенности (и помехоустойчивости) приемников и снижения энергии помех в их источниках и среде распространения.

Частные концепции методологии учета ЭМС существенны для всех этапов разработки, производства и эксплуатации любых ЭС. Например, на каждом этапе необходимо составлять план работ по обеспечению ЭМС.

К важным методологическим концепциям относится экономическая целесообразность учета ЭМС с самого начала разработки ЭС, реализация требований НТД в части ЭМС на всех этапах разработки изделий, создание более совершенной НТД, обеспечение контролепригодности ЭС по их параметрам ЭМС, функционирование специальных служб ЭМС, распространение знаний о научно-техническом направлении ЭМС, в том числе изучение методов и способов обеспечения ЭМС в технических учебных заведениях и т. д.

К настоящему времени действует обширная номенклатура НТД в области ЭМС. Ее разработка проводилась на опережающей основе, что характерно как для международной, так и для национальной НТД. Она устанавливает нормы (требования) на характеристики ЭМС и на методы контроля продукции в части соответствия нормам. Стандартизация методов контроля и требований к измерительной аппаратуре позволяет обеспечивать повторяемость результатов контроля характеристик ЭМС в одинаковых условиях. При этом целесообразность практического внедрения стандартных норм должна определяться на экономической основе. Однако экономическая оценка до сих пор не проводится с необходимой полнотой несмотря на то, что обеспечение ЭМС является экономическим фактором, нуждающимся во всестороннем обосновании.

**Заключение.** Решение проблем по обеспечению стойкости электронных систем к воздействию мощных электромагнитных помех требует: подготовки данных об ЭМО; уточнения влияния электромагнитных помех по основным путям их проникновения; пересчета этих данных в токи и напряжения в критических точках аппаратуры; разработки критериев оценки стойкости электронных систем к воздействию электромагнитных помех; сравнение полученных характеристик помех в цепях систем с допустимыми значениями помех и проведения оценки ухудшения функционирования этих систем в соответствии с разработанными критериями.

### Список литературы

1. Седельников, Ю.Е. Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств: учеб. пособие / Ю.Е. Седельников, Д.А. Веденькин; под ред. Ю.Е. Седельникова; ФГБОУ ВПО КНИТУ-КАИ им. А.Н. Туполева. – Казань : Новое знание, 2016. – 344 с.
2. Уайт Д. Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств и не-преднамеренные помехи / Пер. с англ. Под ред. А.И. Сапгира. вып. 1 М.: Сов. радио, 1977. – 348 с.
3. The Impact of ESD on Microcontrollers / G.A. Piskun [et al.] ; edited by PhD, Associate professor V.F. Alexeev. – Minsk : Kolorgrad, 2018. – 184 p.
4. Alexeev, V.F. Modeling of nonstationary heating of semiconductor structures under HEMP actions with short pulse duration / V.F. Alexeev, V.I. Zhuravliov // IEEE Transactions on Device and Materials Reliability. – 2006. – Vol. 6, № 3. – P. 429 – 435. – DOI: 10.1109/TDMR.2006.882200.
5. Zhuravliov, V. Thermal conductivity influence on failures of semiconductor ICs under powerful EMP action / Vadim Zhuravliov, Victor Alexeev // The 2003 IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility (EMC): Symp. Rec. - 2003. – Vol. 2. – P. 1040-1042. – DOI: 10.1109/ICSMC2.2003.1429092.
6. Алексеев, В.Ф. Воздействие разрядов статического электричества на полупроводниковые структуры и интегральные схемы / В.Ф. Алексеев, Г.А. Пискун, А.А. Лисовский // Danish Scientific Journal. – 2018. – Vol.1, No 19. – Pp. 31–41.
7. Моделирование джоулева нагрева в среде COMSOL Multiphysics / В.Ф. Алексеев [и др.] // Доклады БГУИР. – 2018. - № 7 (117). – С. 90–91.
8. Модели прогнозирования надежности интегральных схем с учетом воздействия электростатического разряда / В.Ф. Алексеев [и др.] // Slovak international scientific journal. – 2018. – Vol. 1, N 24. – Pp. 47–62.
9. Алексеев, В.Ф. Моделирование и оптимальное проектирование технических систем: пособие к практическим занятиям : пособие / В.Ф. Алексеев, Г.А. Пискун, В.А. Перевощиков. – Минск : БГУИР, 2017. – 116 с.
7. End to end learning for a driving simulator / V.F. Alexeev and others // Доклады БГУИР. – 2018. – № 2 (112). – С. 85–91.
10. Алексеев, В.Ф. Обеспечение безопасности функционирования средств медицинской электроники при воздействии мощных электромагнитных импульсов / В.Ф. Алексеев [и др.] // Медэлектроника – 2014. Средства медицинской электроники и новые медицинские технологии : сборник научных статей VIII Международная научно-техническая конференция (Минск, 10 – 11 декабря 2014 г.). – Минск : БГУИР, 2014. – С. 169–172.

UDC 621.396

## PROBLEMS OF ENSURING ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY OF ELECTRONIC SYSTEMS

*Panasyuk N.A.*

*Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus*

*Alexeev V.F. – PhD of technical sciences, Piskun G.A. – PhD of technical sciences*

**Annotation.** The analysis of the current state of the problem of ensuring the electromagnetic compatibility of electronic systems. An approach to determining the role and value of EMC characteristics in solving the problem of ensuring noise immunity is shown. It is noted that the methods and methods of ensuring EMC in many cases are associated with the implementation of the requirements of a special scientific and technical documentation, including the standards governing the corresponding organizational and technical measures.

**Keywords.** Electronic system, electromagnetic compatibility, unintentional electromagnetic interference, electromagnetic environment, radio frequency resource, simulation.