

# Автоматизированные системы для испытаний на ЭМС на основе программной платформы R&S ELEKTRA

Н. Лемешко, д. т. н.<sup>1</sup>, Д. Богаченков<sup>2</sup>

УДК 621.317 | ВАК 05.11.01

Построение испытательных лабораторий и оптимизация их функционирования – задачи, сопутствующие разработке технических средств. Практика создания испытательных систем показала, что решение измерительных задач в области электромагнитной совместимости (ЭМС) требует создания отдельных специализированных комплексов, что обусловлено спецификой реализуемых методов измерений [1] и, в некоторых случаях, большим объемом измерений. Такие измерительные установки целесообразно снабжать средствами автоматизации, что в широком смысле позволяет повысить эффективность их использования и, безусловно, соответствует современному уровню научно-технического развития. В данной статье рассматривается построение автоматизированных комплексов для испытаний в области ЭМС с использованием программного обеспечения компании Rohde & Schwarz (R&S).

**В** настоящее время компания Rohde & Schwarz представляет на рынке новую программную платформу – специальное программное обеспечение (СПО) R&S ELEKTRA, предназначенную для выполнения автоматизированных измерений показателей помехоэмиссии и помехоустойчивости технических средств, в том числе при проведении сертификационных испытаний. Использование автоматизации при измерениях по ЭМС позволяет обеспечить строгое соблюдение методов их проведения, предписанных стандартами, улучшить повторяемость и воспроизводимость результатов измерений, снизить вероятность возникновения грубых ошибок при их проведении. Функциональность R&S ELEKTRA в общих чертах рассмотрена в [2–4]. Она подразумевает автоматическое управление средствами измерений и вспомогательным оборудованием в соответствии с выбранными профилями испытаний, автоматическое сопоставление с нормами, установленными стандартами для продукции конкретного вида, документирование результатов измерений, а также гибкую настройку под задачи конкретного пользователя. Программная платформа СПО R&S ELEKTRA построена по модульному принципу, и в зависимости от имеющегося приборного оснащения она может обеспечивать раз-

ную степень автоматизации измерений – от минимальной до практически полной.

Рассмотрим примеры построения измерительных систем для испытаний технических средств на ЭМС на основе программной платформы СПО R&S ELEKTRA.

## ТИПОВЫЕ СХЕМЫ ИЗМЕРЕНИЙ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ СПО R&S ELEKTRA ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЛНОЙ АВТОМАТИЗАЦИИ ИЗМЕРЕНИЙ

Концепция построения СПО R&S ELEKTRA предусматривает максимальный охват средств измерений и вспомогательных элементов измерительной установки удаленным управлением, при помощи которого и реализуются алгоритмы измерений, заложенные в те или иные стандарты. Практика испытаний на ЭМС свидетельствует о том, что измерения помехоэмиссии могут быть автоматизированы полностью, исключая аспекты управления испытываемым техническим средством. Что касается измерений показателей стойкости к электромагнитным полям и кондуктивным помехам, то граница предельно достижимой автоматизации охватывает управление оборудованием, применяемым для формирования и контроля электромагнитных воздействий, но за отклонениями в работе испытуемых объектов (ИО) в большинстве случаев следит оператор, хотя и эту проблему в настоящее время возможно решить с помощью специального программного дополнения

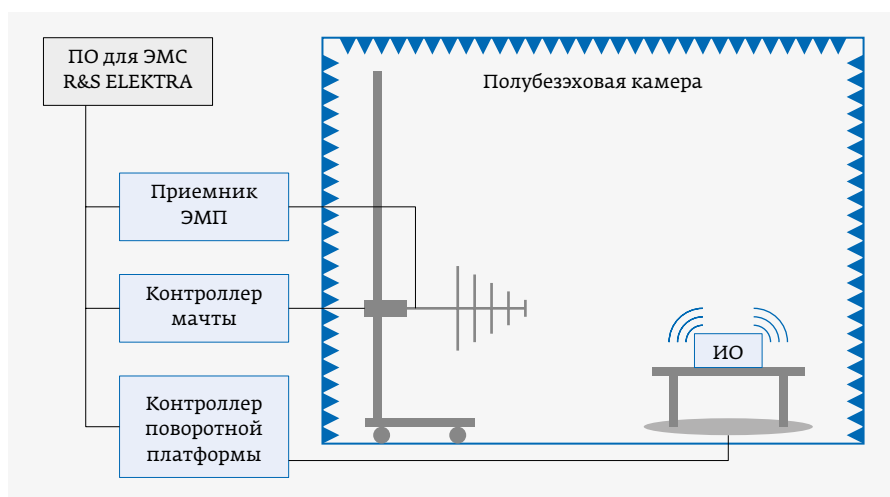
<sup>1</sup> АО «Корпорация «Комета», в. н. с., nlem83@mail.ru.

<sup>2</sup> ООО «РОДЕ и ШВАРЦ РУС», руководитель направления ЭМС, Dmitry.Bogachenkov@rohde-schwarz.com.

для визуального контроля изменений ИО СПО R&S AdvISE [5].

Исходя из этих предпосылок, рассмотрим типовые схемы измерений при использовании ПО R&S ELEKTRA. На рис. 1 [6] показана упрощенная схема установки для измерения эмиссии излучаемых радиопомех, в которой применена одна комбинированная широкополосная измерительная антенна билгопериодического типа, а измерения проводятся по ГОСТ Р 51320-99 на альтернативной измерительной площадке, выполненной с использованием конструктивных элементов экранированной камеры и радиопоглощающих панелей. В данном случае программное обеспечение по заданию оператора и в соответствии с планом измерений управляет тремя ключевыми элементами схемы: измерительным приемником, контроллерами антенной мачты и поворотной платформы. Такой охват и позволяет достичь полной автоматизации измерений, включая традиционно «ручные» операции – изменение высоты подъема антенны и ее ориентации для приема излучений с горизонтальной или вертикальной поляризацией. При измерениях по стандартам MIL-STD-461 и DO-160 СПО R&S ELEKTRA управляет только измерительным приемником, изменения высоты подъема антенны и поворота стола не требуется, а сами измерения проводятся в экранированной камере при измерительном расстоянии, равном 1 м.

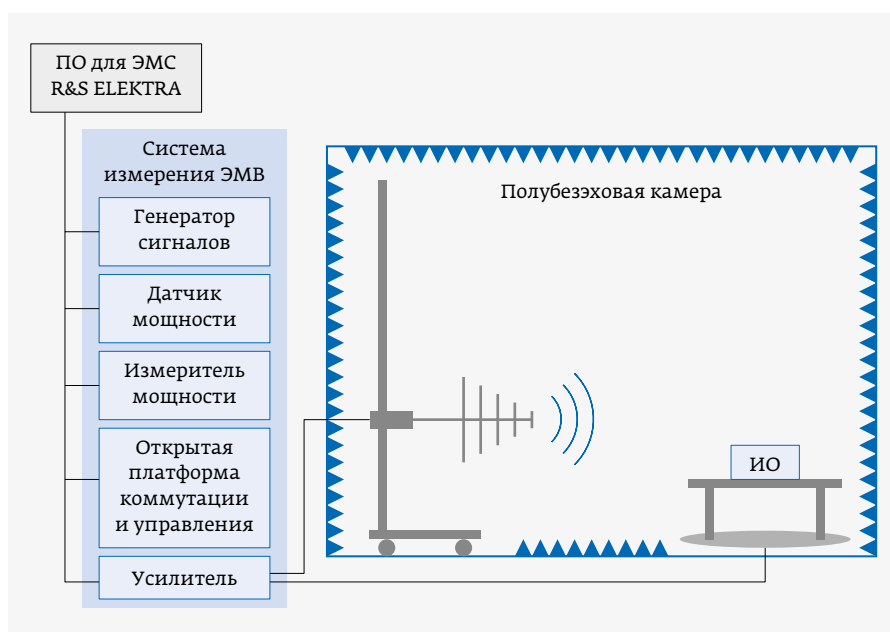
На рис. 2 [6] показана упрощенная схема установки для испытаний на устойчивость к радиочастотным электромагнитным полям. В данном случае управлением и контролем могут быть охвачены все поддерживаемые элементы в составе системы формирования сигнала, подаваемого к антенне для формирования испытательного поля. Датчик мощности обычно подключается через направленный ответвитель, который выполняется как пассивный широкополосный элемент, а измеритель мощности обеспечивает отображение уровня мощности и передачу данных в СПО R&S ELEKTRA. Средства ВЧ-коммутации могут использоваться в условиях применения двух излучающих антенн и двух



**Рис. 1.** Типовая схема установки для измерения эмиссии излучаемых радиопомех при использовании ПО R&S ELEKTRA

усилителей мощности, что является обычной практикой в формировании облучающего поля. Наблюдение за состоянием и определение откликов ИО на облучение может осуществляться с использованием вспомогательных технических средств, расположенных вне рабочего объема камеры.

В схемах на рис. 1 и 2 в качестве интерфейса управления используется Ethernet. Следовательно, существует возможность создания удаленно управляемых распределенных измерительных систем, а также оптимизации



**Рис. 2.** Типовая схема установки для испытаний на устойчивость к радиочастотным электромагнитным полям при использовании ПО R&S ELEKTRA

размещения и использования дорогостоящих средств измерения при реализации измерений.

Далее рассмотрим примеры построения систем для измерений излучаемых радиопомех, основанных на применении ПО R&S ELEKTRA.

### ПРИМЕРЫ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЙ ЭМИССИИ ИЗЛУЧАЕМЫХ РАДИОПОМЕХ НА ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ПЛОЩАДКЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПО R&S ELEKTRA

Измерения в области ЭМС являются одними из самых методически сложных и дорогостоящих. Материальная база современных измерительных комплексов, используемых для выполнения сертификационных испытаний по ЭМС, стоит десятки миллионов рублей. Но во многих случаях измерительные задачи по ЭМС не требуют столь значительных вложений, в особенности если речь идет о предсертификационных испытаниях. Ввиду этого целесообразно рассмотреть два варианта построения систем для измерений эмиссии излучаемых помех – бюджетный и с полной автоматизацией.

Бюджетный вариант отличается низкой стоимостью используемого оборудования и повышенным значением неопределенности измерения [7]. В составе схемы измерений присутствует лишь необходимый минимум оборудования. Наиболее часто проблемы с повышенной помехоэмиссией наблюдаются в диапазоне частот до 1 ГГц, соответственно, при выборе оборудования целесообразно ориентироваться на этот диапазон. В составе измерительного комплекса (рис. 3) предлагается использовать анализатор спектра начального уровня R&S FPL1000 с полосой рабочих частот до 1 ГГц (опционально до 3 ГГц),

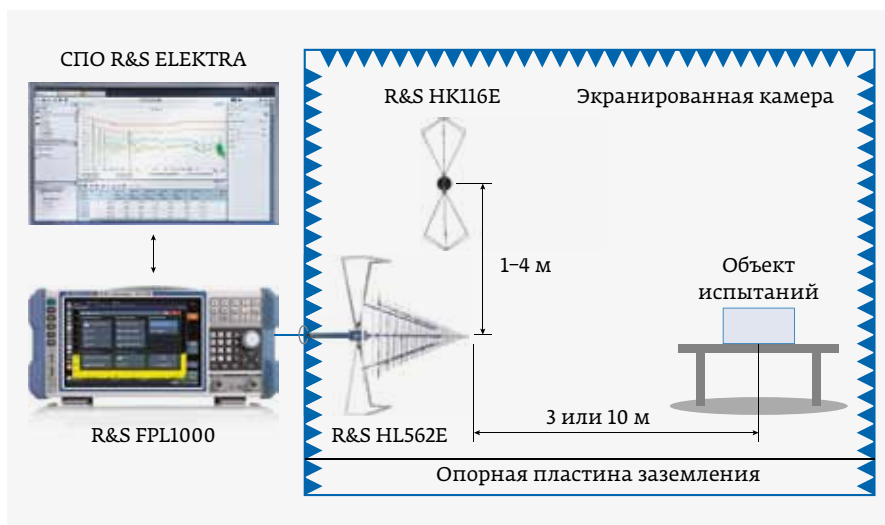
либо более старшую модель R&S FPL1000 со встроенными фильтрами для измерений помехоэмиссии и комбинированную логопериодическую измерительную антенну R&S HL562E (30–6000 МГц), специально предназначенную для испытаний на ЭМС. При такой конфигурации измерительная система будет работать на частотах от 30 МГц. Если ориентироваться на стандарт MIL-STD-461, то измерения должны выполняться в экранированной камере без поворота стола, на котором размещается ИО, и без изменения относительного расположения измерительной антенны и ИО, причем размещение последнего должно гарантировать ориентацию измерительной антенны в направлении максимальной помехоэмиссии. Модуль ELEMI-E ПО R&S ELEKTRA, предназначенный для измерений эмиссии излучаемых и кондуктивных помех, будет охватываться управлением только анализатор спектра.

В отсутствие экранированной камеры измерения могут быть выполнены в условиях типовой радиолaborатории, но это чревато неконтролируемыми погрешностями из-за маскировки излучений от ИО посторонними электромагнитными полями, а при создании классической измерительной площадки по ГОСТ Р 51320-99 – из-за многолучевого распространения радиоволн. В последнем случае в соответствии со схемой на рис. 1 требуется использование полубезэховых камер.

В представленной на рис. 3 схеме измерений ПО R&S ELEKTRA обеспечивает сопоставление результатов с нормами заданного стандарта и формирование отчета. Для легитимности получаемых результатов оператор должен тщательно соблюдать предписанные стандартами условия проведения измерений.

Вариант с полной автоматизацией может быть пред-

ставлен решением, соответствующим схеме на рис. 4, построенной с опорой на стандарт MIL-STD-461. Такая схема предназначена для измерений помехоэмиссии в диапазоне частот от 10 кГц до 40 ГГц и может быть реализована в сертификационных центрах. Центральным ее компонентом является измерительный приемник высшего класса R&S ESW44 (от 2 Гц до 44 ГГц) или анализатор спектра высшего класса R&S FSW с диапазоном частот до 90 ГГц и более. Также может быть использован измерительный приемник R&S ESR26 с полосой рабочих частот от 10 Гц до 26,5 ГГц. Встроенный маломощный предусилитель в составе названных средств измерений позволяет достичь высокой чувствительности в диапазоне частот во всей полосе



**Рис. 3.** Схема измерительной установки для анализа эмиссии излучаемых радиопомех в диапазоне частот от 30 МГц до 1 (6) ГГц при использовании ПО R&S ELEKTRA

измерений помехоэмиссии. Важным достоинством измерительных приемников серии R&S ESW является возможность анализа спектра в реальном времени с полосой до 80 МГц [8, 9].

Режим анализа спектра в реальном времени в основном применяется для углубленного исследования промышленных помех, а также для быстрой регистрации редко повторяющихся помех, включая импульсные. Полоса анализа шириной 80 МГц обычно достаточна для таких измерений.

Для охвата частотного диапазона от 30 МГц до 40 ГГц потребуется не менее трех антенн, причем перекрытие их рабочих полос частот не является недостатком измерительной системы. В составе установки предлагается использовать антенны R&S HL562E (30–6000 МГц, комбинированная логопериодическая), R&S HF907 (0,8–18 ГГц, рупорная), Schwarzbeck BBNA 9170 (15–40 ГГц, рупорная). Фазовые центры антенн удалены от ИО на одно и то же расстояние, равное 1 м. Стандарт MIL-STD-461 предписывает ориентацию ИО к антеннам в направлении максимального излучения, что может быть достигнуто фиксированным поворотом стола на определенный угол, в том числе с использованием автоматического привода.

При наличии подходящих условий измерения могут быть реализованы во всей полосе частот от 30 МГц до 40 ГГц. Для этого антенны должны быть расположены на индивидуальных мачтах, а необходимость удаления недействующих в текущий момент антенн за пределы измерительной площадки должна устраняться минимизацией их взаимосвязи через механизм ближнего поля. Считается, что это условие выполняется при взаимном удалении антенн не менее чем на 1 м, что соответствует минимальному расстоянию между ИО и фазовым центром облучающей антенны при измерении устойчивости к радиочастотным полям. В этом случае удобно использовать электронную коммутацию антенн с попеременным, программно управляемым подключением ко входу измерительного приемника или анализатора спектра.

Для этого в схему включен модуль коммутации ВЧ-сигналов R&S OSP-B112, предназначенный для работы в диапазоне частот до 40 ГГц. Для управления модулем коммутации в схеме на рис. 4 предусмотрен базовый блок R&S OSP230 или R&S OSP320, имеющий дисплей и панель управления. Он обеспечивает как ручную, так и автоматическую коммутацию антенн ко входу измерительного приемника R&S ESW44 с использованием удаленного управления, реализуемого ПО R&S ELEKTRA.



Рис. 4. Схема автоматической измерительной установки для анализа помехоэмиссии в диапазоне частот от 10 кГц до 40 ГГц при использовании ПО R&S ELEKTRA. RS103, RE103 – разделы стандарта MIL-STD-461

Стандарт MIL-STD-461 не предусматривает изменение высоты подъема антенн и вращение ИО вокруг своей оси. Но, например, в случае измерений по стандарту ГОСТ Р 51320-99 эти действия требуется осуществлять. Ввиду этого в схеме на рис. 4 предусмотрены контроллеры привода антенн (КПА) и контроллер привода вращения испытуемого объекта (КПВ), также поддерживаемые ПО R&S ELEKTRA. Измерительные антенны и ИО должны быть размещены внутри экранированной камеры.

Как и в бюджетном варианте, ПО R&S ELEKTRA устанавливается на компьютер, при помощи которого осуществляется управление измерительным комплексом. Для автоматических измерений эмиссии излучаемых радиопомех целесообразно применять базовый модуль R&S ELEM1-E, а также, для обеспечения расширенной функциональности, модули R&S ELEM1-A и R&S ELEM1-S, используемые для создания систем с максимальной степенью автоматизации измерений.

Для связи с управляемыми объектами используется высокоскоростной коммутатор, работающий по протоколу Ethernet. При использовании безэховой экранированной камеры (БЭК) управляющие сигналы целесообразно передавать по оптоволоконной линии, что позволит уменьшить проникновение внешних электромагнитных полей в защищаемый объем.

Итоговый облик построенной измерительной системы выглядит следующим образом. Она включает в себя измерительный приемник R&S ESW44, базовый блок управления коммутацией R&S OSP230 с коммутатором R&S OSP-B112, компьютер с установленными программными модулями ПО R&S ELEKTRA, а также сетевой коммутатор. Используются измерительные антенны R&S HL562E, HF907, Schwarzbeck BBNA 9170, установленные на трех антенных мачтах.

### ПРИМЕР ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЙ ЭМИССИИ КОНДУКТИВНЫХ РАДИОПОМЕХ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПО R&S ELEKTRA

Измерения эмиссии кондуктивных электромагнитных помех в методическом плане оказываются существенно проще из-за отсутствия необходимости любых механических перемещений. В качестве измерительного преобразователя здесь должен использоваться эквивалент сети [1], если рассматривается эмиссия помех в питающую

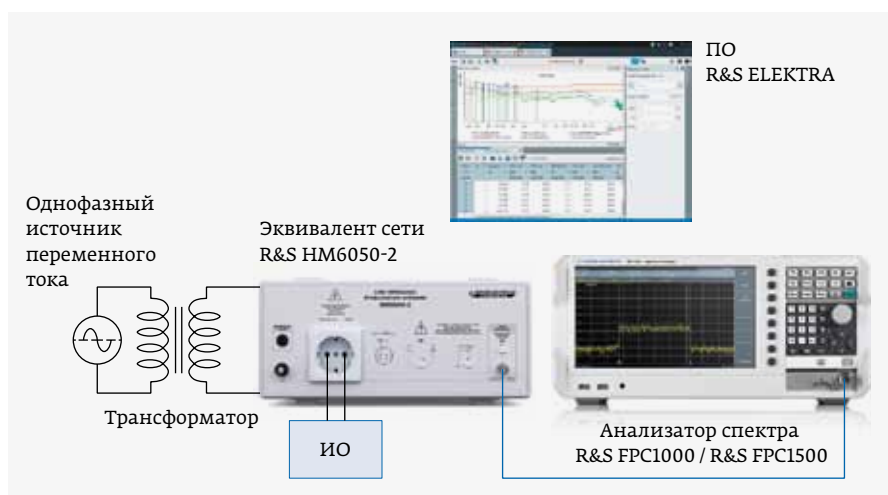


Рис. 5. Схема для измерений эмиссии кондуктивных помех в питающую электрическую сеть

электрическую сеть. Если ИО имеет типовое трехпроводное подключение, то в составе схемы измерений может использоваться двухпроводный V-образный эквивалент сети R&S ENV216 с рабочей полосой от 9 кГц до 30 МГц. Если для ИО требуется трехфазное электропитание, то необходимо использовать четырехпроводный эквивалент сети R&S ENV432. Эквивалент сети имеет специальный порт Remote Control с интерфейсами RS-232 и RS-485, поэтому для использования протокола Ethernet должен использоваться преобразователь интерфейсов. Выходной сигнал с эквивалента сети может подаваться на любой поддерживаемый ПО R&S ELEKTRA измерительный приемник R&S ESW, ESR, ESRP или анализатор спектра, например, R&S FPL1000, FPC1000, FPC1500.

Пример схемы, предназначенной для измерений эмиссии кондуктивных помех в питающую электрическую сеть, приведен на рис. 5 [10].

Управление всеми элементами измерительной системы осуществляется модулем R&S ELEM1-E, при необходимости функциональность установки может быть расширена за счет модулей R&S ELEM1-A и R&S ELEM1-S. ПО R&S ELEKTRA позволяет провести измерения эмиссии кондуктивных помех в полностью автоматическом режиме. Их целесообразно выполнять в экранированной камере в целях защиты от посторонних помех природного и техногенного характера.

\*\*\*

Таким образом, существуют различные варианты построения измерительных комплексов на основе ПО R&S ELEKTRA. Возможность использования как бюджетных средств измерений, так и сертификационных средств измерений высшего класса позволяет создавать измерительные установки в соответствии с текущими



задачами – как исследовательского, так и прикладного характера.

Сама концепция построения ПО R&S ELEKTRA подразумевает возможность реализации множества задач, для решения которых предназначен измерительный комплекс. Повышение степени автоматизации измерений не требует полной смены аппаратно-программного обеспечения, а достигается введением в измерительную систему поддерживаемого ПО R&S ELEKTRA устройства или их группы, после чего осуществляются необходимые программные настройки. Таким образом, модернизация испытательных систем, работающих под управлением ПО R&S ELEKTRA, фактически не требует наладки средств измерений и дополнительного оборудования.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. **Уильямс Т.** ЭМС для разработчиков продукции / Пер. с англ. Кармашева В. С., Кечиева Л. Н. – М.: Издательский дом «Технологии», 2003. 540 с.
2. R&S ELEKTRA. Программное обеспечение для испытаний на ЭМС. Проведение испытаний на ЭМС от этапа разработки до сертификации. – Брошюра изделия. Версия 01.01. 10 с.
3. Интернет-ресурс [https://www.rohde-schwarz.com/ru/product/elektra-emc-productstartpage\\_63493-584628.html](https://www.rohde-schwarz.com/ru/product/elektra-emc-productstartpage_63493-584628.html) (дата обращения 11.11.2019)
4. R&S®ELEKTRA EMC test software. Specifications. – Data sheet, Version 02.00. 12 p.
5. Интернет-ресурс [https://www.rohde-schwarz.com/ru/product/advise-productstartpage\\_63493-149761.html](https://www.rohde-schwarz.com/ru/product/advise-productstartpage_63493-149761.html) (дата обращения 11.11.2019)
6. Интернет-ресурс [https://scdn.rohde-schwarz.com/ur/pws/dl\\_downloads/dl\\_common\\_library/dl\\_brochures\\_and\\_datasheets/pdf\\_1/service\\_support\\_30/Elektra\\_EMC\\_bro\\_ru\\_5216-3695-18\\_v0101\\_120dpi.pdf](https://scdn.rohde-schwarz.com/ur/pws/dl_downloads/dl_common_library/dl_brochures_and_datasheets/pdf_1/service_support_30/Elektra_EMC_bro_ru_5216-3695-18_v0101_120dpi.pdf) (дата обращения 07.02.2020)
7. ГОСТ 30805.16.4.2-2013. Совместимость технических средств электромагнитная. Неопределенность измерений в области электромагнитной совместимости. – М.: Стандартинформ, 2014. 24 с.
8. R&S ESW. Измерительный приемник электромагнитных помех. Исключительные высокочастотные характеристики и уникальные возможности измерений от 2 Гц до 500 ГГц. – Техническое описание. Версия 01.01. 19 с.
9. **Лемешко Н. В., Петров В. В., Поветкин О. В., Богаченков Д. А.** Спектральный анализ в реальном времени для поиска случайных импульсных помех с помощью измерительных приемников серии R&S ESW // Электронные компоненты. 2016. № 6. С. 48–50.
10. Интернет-ресурс [https://scdn.rohde-schwarz.com/ur/pws/dl\\_downloads/dl\\_application/pdfs/EMI-debugging-with-FPC\\_ac\\_3609-3213-92\\_v0100.pdf](https://scdn.rohde-schwarz.com/ur/pws/dl_downloads/dl_application/pdfs/EMI-debugging-with-FPC_ac_3609-3213-92_v0100.pdf) (дата обращения 13.02.2020)

**Электроника → Транспорт 2020**

14-я специализированная выставка электроники и информационных технологий для пассажирского транспорта и транспортной инфраструктуры

Проводится в рамках Российской недели общественного транспорта [www.publictransportweek.ru](http://www.publictransportweek.ru)

**27-29 МАЯ / МОСКВА / КВЦ «СОКОЛЬНИКИ»**

WWW.E-TRANSPORT.RU