

МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ЭКРАНИРУЮЩИХ СВОЙСТВ КАБЕЛЬНЫХ ЖГУТОВ ПРИ ИСПЫТАНИЯХ БОРТОВОЙ АППАРАТУРЫ НА СООТВЕТСТВИЕ ТРЕБОВАНИЯМ ПО ЭМС

С.Лютаев¹

УДК 621.3.08
ВАК 05.11.00

Причиной несоответствия бортовой аппаратуры (БА) требованиям по электромагнитной совместимости (ЭМС) зачастую становятся неправильно выполненные кабельные жгуты. При плохих экранирующих свойствах кабелей внешние воздействия могут нарушить работоспособность аппаратуры или привести к ее отказу. Испытания БА на ЭМС достаточно сложные и дорогостоящие, поэтому целесообразно оценивать экранирующие свойства кабелей до проведения испытаний системы в целом. Лаборатория ЭМС ЗАО "ТЕСТПРИБОР" накопила большой опыт проведения испытаний БА на соответствие требованиям по ЭМС и оценки качества кабельных жгутов, в том числе в составе системы или комплекса. Рассмотрим наиболее эффективные методы испытаний кабельных жгутов с целью оценки их экранирующих свойств.

При испытаниях бортовой аппаратуры на эмиссию радиочастотных помех (ГОСТ В 25803-90, ГОСТ РВ 6601-002-2008, ГОСТ Р 51318.11-2006) измеряют помехи, генерируемые испытуемым изделием в рабочем режиме вместе с присоединенными кабелями и соединителями, в том числе кабелями питания, связи, управления. Измерение помех выполняется как в кабельных линиях, так и по радиочастотному полю.

Испытания аппаратуры на устойчивость к помехам также проводятся при воздействии внешних факторов на всю систему, в том числе на кабельные жгуты (табл.1). Для некоторых видов помех воздействие производится именно на кабели.

Методы испытаний бортовой кабельной сети летательных аппаратов (ЛА) с целью оценки эффективности экранирования описаны в ОСТ 101205-2012, разработанном головной организацией по стандартизации продукции авиационной промышленности Минпромторга РФ – ФГУП "НИИСУ" с участием ОАО "НИИАО". Стандарт устанавливает методики измерений эффективности экранирования оплетками элементов бортовой кабельной сети ЛА – одиночных проводов и жгутов проводов. Эти методики предназначены для измерения поверхностного переходного сопротивления и эффективности экранирования в диапазоне частот 0,1...1000 МГц.

Примером относительно простой методики может служить испытательная установка для измерения переходного поверхностного сопротивления электри-

¹ Начальник лаборатории ЭМС ЗАО "ТЕСТПРИБОР".

Таблица 1. Виды испытаний на устойчивость к помехам

Внешние воздействующие факторы	Нормативно-технический документ	Способ воздействия	Уровень воздействия
Устойчивость к радиочастотным полям (HIRF)	КТ-160D, разд. 20	Антенна-облучатель	$V_{hf} = 200...500$ В/м
Магнитное поле	КТ-160D, разд. 19	Провод-индуктор	$I = 30$ А·м, $F = 380...400$ Гц
Электрическое поле	КТ-160D, разд. 19	Провод-индуктор	$V = 135...5400$ В·м, $F = 380...15000$ Гц
Импульсное воздействие	КТ-160D, разд. 19	Провод-индуктор	$\alpha_v = 600$ В, $\tau_1 = 50...1000$ мкс, $\tau_2 = 0,2...10$ мкс
Затухающие синусоидальные импульсы	Спецтребования	Инжектор	$I \leq 5$ А
Микросекундные импульсные помехи (МИП)	ГОСТ Р 51317.4.5-99	Инжектор/ устройство связи	$V = 0,5...4$ кВ
Наносекундные импульсные помехи (НИП)	ГОСТ 30804.4.4-2013 (ГОСТ Р 51317.4.4-2007)	Инжектор (клещи связи)	$V = 0,2...4$ кВ, $t = 1...1000$ нс, $F_{и} = 5/100$ кГц
Электростатический разряд (ЭСР)	КТ-160D, разд. 25, спецтребования	Генератор ЭСР, разрядник	До 15...25 кВ

чески короткого одиночного провода (обычно длиной 300 мм). По данной схеме испытуемый провод подключается к выходу синхрогенератора анализатора спектра через переходное устройство с резистором сопротивлением 50 Ом (рис.1). К центральному проводнику переходного устройства припаивается центральный провод испытуемого кабеля, у которого оплетка закорочена на центральный проводник. Второй конец провода через высокочастотный коаксиальный соединитель подключается к выходу анализатора спектра [1].

Переходное поверхностное сопротивление рассчитывают по формуле:

$$Z_T = U_{\text{пров}}(f) / (I_{\text{пров}} \cdot L) = (50 \cdot U_{\text{пров}}(f)) / (U_{\text{вых}} \cdot L), \text{ Ом/м,}$$

где $U_{\text{пров}}(f)$ – напряжение, наведенное на внутреннем проводнике одиночного экранированного провода, измеренное анализатором спектра, В; $I_{\text{пров}}$ – ток, протекающий по внешней поверхности оплетки испытуемого провода, $I_{\text{пров}} = U_{\text{вых}} / 50$, А; $U_{\text{вых}}$ – напряжение на выходе синхронного генератора; L – длина испытуемого проводника, м.

Эффективность экранирования SE рассчитывают по формуле:

$$SE = 34 - 20 \cdot \lg(Z_T), \text{ дБ.}$$

К недостаткам данного метода можно отнести отсутствие серийно выпускаемой оснастки, плохую повторяемость результатов, частотную зависимость измеренной характеристики.

Методика измерения эффективности экранирования оплетками проводов произвольной длины на частотах от 30 до 1 000 МГц основана на измерении напряжения в проводнике, помещенном в испытательную ГТЕМ-камеру или реверберационную камеру, сначала с экраном (оплеткой), затем без него (рис.2).



Рис.1. Схема измерения переходного поверхностного сопротивления одиночного экранированного провода

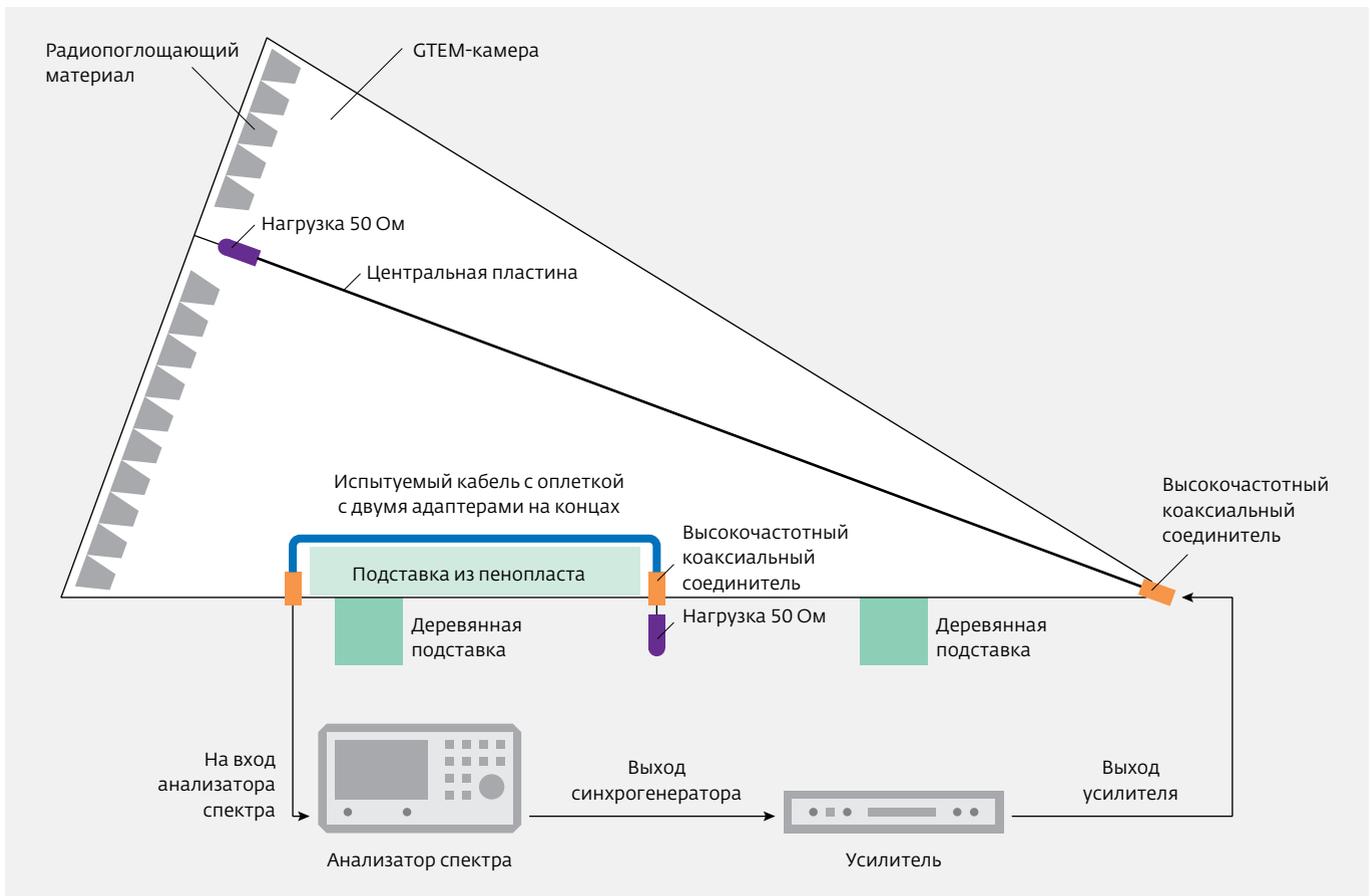


Рис.2. Схема установки для измерения эффективности экранирования оплетками проводов/жгутов в GTEM-камере

Эффективность экранирования рассчитывают по формуле:

$$SE = 20 \lg(U_{\text{без экр}} / U_{\text{экр}}), \text{ дБ.}$$

Для обеспечения устойчивой работы цифрового бортового оборудования в условиях воздействия элект...

Таблица 2. Эффективность экранирования одиночных проводов и жгутов

Диапазон частот, МГц	Эффективность экранирования, дБ	
	одиночного провода	жгута проводов
от 30 до 100 (вкл.)	40	
свыше 100 до 200 (вкл.)	35	30
свыше 200 до 400 (вкл.)	30	25
свыше 400 до 700 (вкл.)	20	
свыше 700 до 1 000 (вкл.)		

ромагнитных полей излучения высокой интенсивности (HIRF) с напряженностью $E_{\text{норм}} = 100 \text{ В/м}$ эффективность экранирования оплетками одиночных проводов и жгутов проводов должна соответствовать требованиям ОСТ 101295-2012 (раздел 20, категория жесткости W) (табл.2).

Если в техническом задании на оборудование задана другая напряженность поля $E_{\text{треб}}$, отличная от 100 В/м, то требуемую эффективность экранирования одиночного провода или жгута рассчитывают по формуле:

$$SE_{\text{треб}} = SE_{\text{таб}} + 20 \cdot \lg(E_{\text{треб}}) - 40, \text{ дБ,}$$

где $SE_{\text{таб}}$ – эффективность экранирования, заданная в табл.2.

Преимущество данного метода заключается в достаточно точном моделировании поведения кабеля в радиочастотном поле. К недостаткам относятся высокая стоимость и сложность оборудования, его громоздкость, необходимость мер защиты персонала от излучения.

В кабельной промышленности для оценки эффективности экранирования кабелей применяется метод

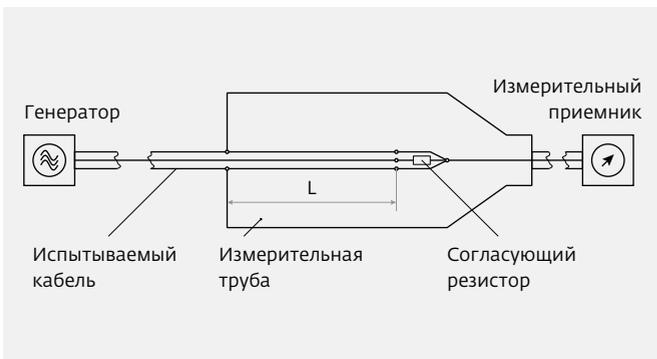


Рис.3. Схема измерений с помощью триаксиальной линии

триаксиальной линии (ГОСТ Р 54429-2011, ГОСТ Р 53880-2010) [2, 3]. В ОСТ 101295-2012 этот метод указан как альтернативный [1].

Следует отметить различие в терминологии и определениях, используемых в кабельных [2, 3] и радиотехнических [1] стандартах: "переходное поверхностное сопротивление" – "сопротивление связи", "эффективность экранирования" – "затухание экранирования". В данной статье при описании методов испытаний сохраняется терминология соответствующего стандарта.

При испытаниях по методу триаксиальной линии кабель помещается в измерительной трубе (рис.3). На конце кабеля в трубе крепится специальный наконечник, обеспечивающий контакт с экранирующей оплеткой кабеля, и припаивается согласующий резистор. Сигнал с наконечника, прошедший через экранирующую оплетку кабеля, подается на вход измерительного приемника.



Рис.4. Установка для измерения эффективности экранирования с помощью триаксиальной линии с использованием оборудования компании BEDEA/Rosenberger

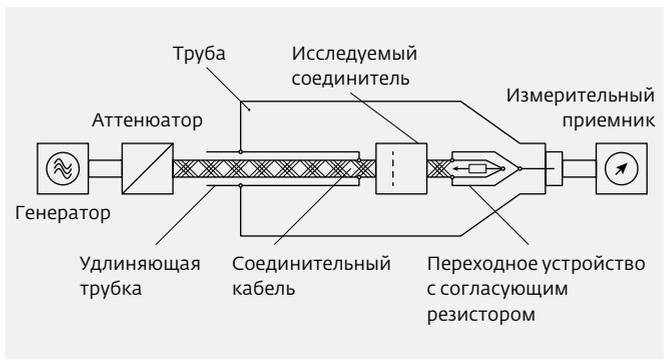


Рис.5. Схема установки для испытания соединителей триаксиальным методом

Эффективность экранирования испытуемого образца можно вычислить по формуле:

$$SE = 20 \cdot \lg (U_{ген} / U_{вх}), \text{ дБ},$$

где $U_{ген}$ – напряжение на выходе генератора; $U_{вх}$ – напряжение на входе измерительного приемника.

Удобство метода триаксиальной линии, компактность измерительной установки и относительная простота оборудования делают его привлекательным для испытателей. Примером такого типа измерительной установки может служить оборудование компании BEDEA/Rosenberger (рис.4) [4].

На основе триаксиального метода можно испытывать не только кабели, но и кабельные соединители, различные прокладки, предназначенные в том числе для обеспечения ЭМС. В этом случае исследуемый соединитель помещается либо в трубе триаксиальной камеры, либо в резонансной камере на основе прямоугольного волновода (рис.5, 6).

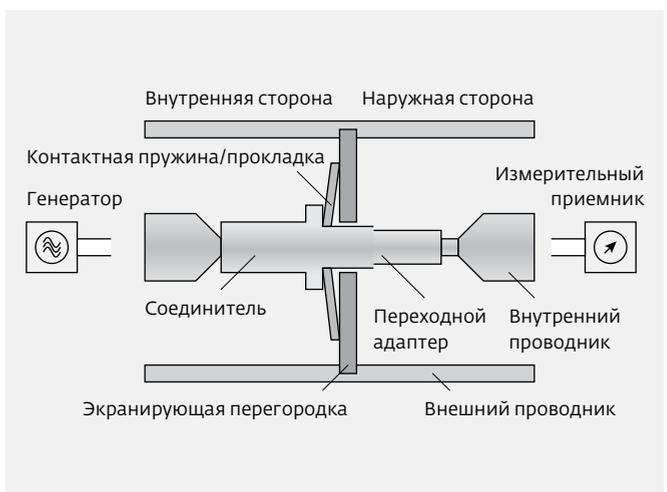


Рис.6. Схема установки для испытания ЭМС-прокладок

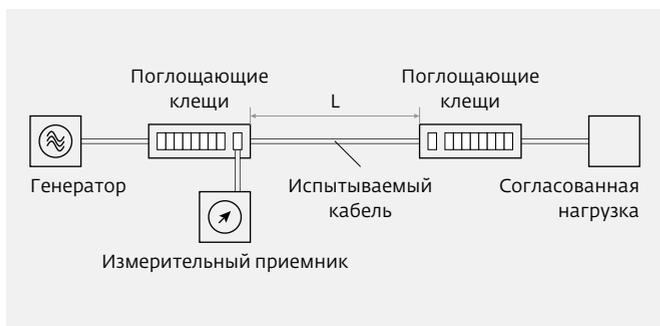


Рис.7. Схема измерений по методу "поглощающих клещей"

Преимуществом метода является использование установки, защищенной от посторонних (шумовых) излучений и неизлучающей в окружающее пространство. Это обеспечивает динамический диапазон измерений до 100 дБ без использования специального экранированного помещения. Частотный диапазон от нескольких кГц до 3 ГГц и выше.

До того как триаксиальный метод за последние несколько лет утвердился в качестве предпочтительного способа измерений, использовался метод "поглощающих клещей" (ГОСТ Р 54429-2011, п. 8.3.9, IEC 61196-1 п.12.4). Принцип измерений по этому методу состоит в следующем: сигнал от генератора подается в испытуемый кабель через отверстие в отражающей пластине, на другом конце кабеля включается согласующая нагрузка (рис.7); за отражающей пластиной находятся поглощающие ферритовые клещи с токосъемником, а на расстоянии 600 см – еще одни поглощающие клещи. Затухание экранирования определяется по формуле:

$$SE = 10 \cdot \lg (P_1 / P_{2max}), \text{ дБ},$$

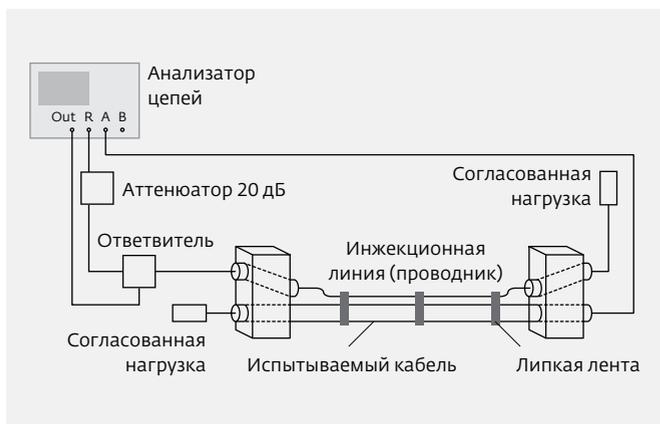


Рис.8. Схема измерений по методу инжекционной линии



Рис.9. Осциллограмма сигнала помехи (импульсный затухающий синусоидальный сигнал) в последовательности импульсов цифрового кода

где P_1 – мощность, подаваемая от генератора, P_{2max} – максимальная излучаемая мощность.

Доступные сегодня поглощающие клещи позволяют измерить затухание экранирования до частоты 2,5 ГГц [4]. Достоинство метода в том, что оборудование для измерений, как правило, доступно в любой лаборатории ЭМС. К недостаткам можно отнести большую длину кабеля, подвергаемого испытанию, и необходимость выполнения измерений в экранированном помещении.

Еще один способ измерения сопротивления связи – метод инжекционной линии (IEC 96-1 Amendment 2/1993). Принцип измерений состоит в том, что сигнал с выхода синхрогенератора анализатора спектра подается на инжекционный про-



Рис.10. Испытательная установка на воздействие затухающей синусоидальной импульсной помехи

вод, прикрепленный к испытываемому кабелю, дальний конец которого соединен с входом анализатора спектра. С его помощью измеряется напряжение проникающего сигнала (рис. 8). Сопротивление связи рассчитывается по формуле:

$$Z_T = \frac{2}{l} \cdot \sqrt{Z_1 \cdot Z_2} \cdot 10^{\frac{A_T}{20}},$$

где $A_T = U_2 / U_1$, U_1 – напряжение сигнала, подаваемого в провод-инжектор, U_2 – напряжение, измеренное на выходе испытываемого кабеля; Z_1 – волновое сопротивление системы инжекционный провод – экран (внешней системы); Z_2 – волновое сопротивление испытываемого кабеля; l – длина экрана.

Верхний частотный предел, до которого можно измерить сопротивление связи по этому методу, зависит от длины испытываемого отрезка образца кабеля и составляет 2,5–3 ГГц [4, 5].

Иногда из-за организационных сложностей, возникающих при согласовании ТЗ на испытания оборудования на ЭМС или утверждению результатов испытаний, проще проводить испытания кабельных жгутов теми же методами, которыми аппаратура испытывается на ЭМС. Для этого на одном конце кабеля включается имитатор сигнала бортовой аппаратуры, а на выходе контролируется наличие искажений из-за сигнала помехи, прошедшего через экран кабеля. Второй вариант – контроль

наличия помехи в сигнале, прошедшем через испытываемый кабель (рис. 9, 10).

Перечисленные методы могут быть использованы разработчиками или испытателями для оценки качества кабельных жгутов и соединителей из состава БА. Испытательная лаборатория ЭМС ЗАО "ТЕСТПРИБОР" готова по заказу предприятия-изготовителя подобрать или разработать подходящую методику и провести испытания кабельных жгутов, в том числе в составе изделия или комплекса.

ЛИТЕРАТУРА

1. ОСТ 1 01205-2012. Экранирование бортовой кабельной сети самолетов и вертолетов. Методы проведения испытаний с целью оценки эффективности экранирования.
2. ГОСТ Р 54429-2011. Кабели связи симметричные для цифровых систем передачи. Общие технические условия.
3. ГОСТ Р 53880–2010. Кабели коаксиальные для сетей кабельного телевидения. Общие технические условия.
4. **Bernhard Mund, Christian Pfeiler.** Balunless measurement of coupling attenuation of screened balanced cables up to 2 GHz. – 64rd IWCS Conference, Atlanta, GA, USA, October 2015.
5. **Кузнецов Р.Г.** Актуальные вопросы оценки эффективности экранирования высокочастотных кабелей. – www.spetskabel.ru/rss/articles/15/1.xml.

ГОТОВИТСЯ К ИЗДАНИЮ



РУКОВОДСТВО ПО ИЗМЕРЕНИЮ ПАРАМЕТРОВ СВЧ ЭЛЕМЕНТОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ НОВЕЙШИХ МЕТОДОВ ВЕКТОРНОГО АНАЛИЗА ЦЕПЕЙ

Джоэль П. Дансмор
При поддержке Keysight
Перевод с английского

Эта книга представляет собой совокупность базовых и передовых понятий теории и практики. К сожалению, границы этих понятий размыты и зависят в значительной степени от уровня образования и опыта читателя. Прежде всего, эта книга о методах выполнения измерений, но в то же время в ней содержится масса информации о характеристиках устройств. Эта информация будет полезна и для проектировщика, и для инженера-испытателя, поскольку одна из целей тестирования устройства состоит в том, чтобы установить характеристики, которые не следуют из упрощенных моделей, обычно используемых для этих устройств.

М.: ТЕХНОСФЕРА, 2016. – Ок. 560 с.
Переводное издание
формат 70 × 100 / 16
переплет

КАК ЗАКАЗАТЬ НАШИ КНИГИ?

✉ 125319, Москва, а/я 91; ☎ (495) 956-3346; ☎ (495) 234-0110; knigi@technosphera.ru, sales@technosphera.ru

