

Испытательные лаборатории Европейского космического агентства

Максим Смолин (Москва)

Статья посвящена техническому обзору Электромагнитной лаборатории Европейского космического агентства. Описаны технологии и характеристики оборудования, используемые для антенных измерений и испытаний на электромагнитную совместимость новых образцов космической техники. Приводятся рекомендации и решения, которые могут быть использованы при создании аналогичных испытательных комплексов в России.

Рост спроса на надёжную космическую технику предъявляет новые, повышенные требования к оснащению испытательных лабораторий. Для выбора эффективного решения при создании подобной лаборатории для одного из российских предприятий ракетно-космической промышленности в мае 2015 года было организовано посещение Европейского центра космических исследований и технологий (ESTEC), который входит в структуру Европейского космического агентства (ESA). ESTEC является основной площадкой для проведения целого комплекса испытаний новой техники, создаваемой для космических программ ESA. В структуру Центра, который насчитывает более 2000 инженеров, входят 11 научных и испытательных лабораторий.

Целью посещения стала Электромагнитная лаборатория, где проводятся испытания на электромагнитную совместимость и антенные измерения бортовой аппаратуры изделий космической техники. Лаборатория располагается в отдельном ангаре с собственными инженерными коммуникациями (вентиляция, заземление), не зависящими от основных инженерных сетей Центра. Благодаря этому созданы необходимые для проведения испытаний условия по классу чистоты и кондиционирования помещений, а также исключены радиопомехи от общей с Центром шины заземления.

Электромагнитная лаборатория представляет собой два комплекса безэховых экранированных камер, в которых проходят испытания космической техники:

- компактный антенный полигон, предназначенный для проведения испытаний бортовых антенн диаметром до одного метра, работающих в диапазоне частот от 2 до 110 ГГц (см. рис. 1).
- комплекс для проверки электромагнитной совместимости до 18 ГГц.

Антенный комплекс

Комплекс создан на базе безэховой экранированной камеры, выполненной по модульному принципу. Экран камеры, изготовленный из оцинкованной стали, крепится к несущему каркасу болтовыми соединениями. Это позволяет модернизировать камеру за счёт добавления новых секций, а также, в случае необходимости, разобрать, перенести и заново собрать камеру на новом месте. Габариты безэховой камеры антенного комплекса составляют 10 × 5 × 4 м. Стены, потолок и пол покрыты пирамидальным радиопоглощающим материалом EccoSorb. На входе в камеру используется плоский напольный радиопоглощающий материал.

Оборудование антенного комплекса состоит из двух коллиматорных зеркал фирмы March, двухплоскостного позиционера АСС и комплекта излучающих рупорных антенн. Такая система (см. рис. 2) позволяет создавать плоскую волну в ближней зоне для измерения диаграммы направленности антенн, в том числе для европейской навигационной системы Galileo, а также для проверки радарных систем и свойств радиоотражающих материалов.

Используемый в безэховой камере позиционер обеспечивает вращение по азимуту и линейное перемещение для увеличения / уменьшения расстояния антенны до коллиматорных зеркал. Управление позиционером осуществляется из комнаты оператора, находящейся за пределами антенной камеры. Комплекс оснащён системой видеонаблюдения и регистрации, что обеспечивает контроль проведения антенных измерений и пожарной ситуации внутри камеры.



Рис. 1. Компактный антенный полигон Электромагнитной лаборатории



Рис. 2. Расположение антенного позиционера и коллиматоров внутри безэховой экранированной камеры антенного полигона



Рис. 3. Покрытие радиопоглощающим материалом безэховой экранированной камеры для испытаний на ЭМС

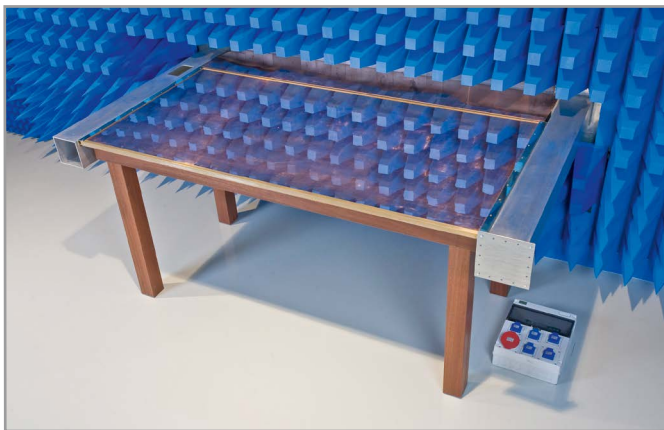


Рис. 4. Испытательный стол с вводом от фильтров для проведения испытаний на кондуктивные помехи (слева – отфильтрованный ввод)

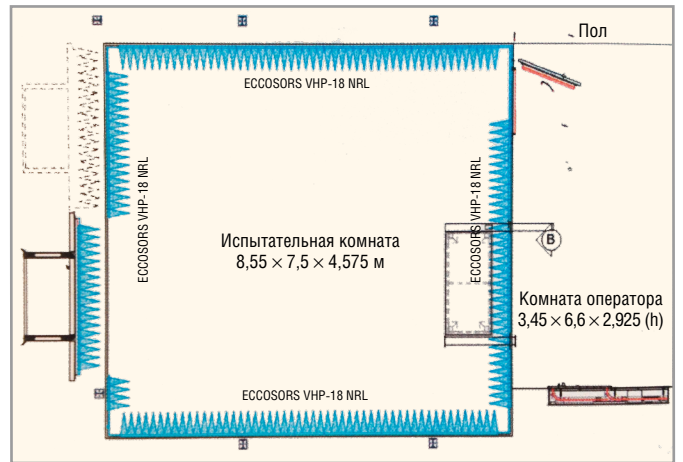


Рис. 5. План комплекса для испытаний на ЭМС

Основным контрольно-измерительным прибором для проведения антенных измерений является четырёхпортовый анализатор электрических цепей производства Keysight серии PNA (рабочий диапазон от 10 МГц до 50 ГГц).

Комплекс для проверки электромагнитной совместимости космической техники

В комплексе проводятся испытания приборов космических аппаратов и отдельных изделий, перечисленных в таблице 1. Основной стандарт испытаний – MIL STD-461E, но в конструкцию камеры внесено дополнение: пол покрыт ферритом и залит составом, похожим на эпоксидную смолу. Это позволяет обрабатывать в камере научные и экспериментальные задачи. Например, дополнительно уложив на пол металлический экран, можно намеренно ухудшить характеристики безэховости, приблизив условия проводимых испытаний к реальным. Кро-

ме этого, комплекс активно используется для исследования новых методов и процедур испытаний на ЭМС: измерение спектральной плотности мощности в миллигерцовом диапазоне, двойная инъекция объёмного тока, и так далее. При испытаниях на электростатический разряд применяются основные стандарты – IEC 61000-4-2 и ECSS-E-ST-20-07C. В комплексе проводятся научные эксперименты по испытанию аппаратуры микроспутников (L = 40 см), работающих в диапазонах S, L, VHF и UHF.

Конструкция безэховой экранированной камеры (внутренние размеры 8,55 × 7,5 × 4,575 м) также имеет модульный, сборный принцип и оснащена автоматическими воротами 3 × 3,5 м. Стены и потолок покрыты пенным радиопоглощающим материалом EccoSorb VHP-18 NRL (см. рис. 3).

Как уже было сказано, использование отдельной шины заземления всей Электромагнитной лаборатории позволяет исключить проникновение помех от общей шины заземления Центра. Для более эффективного экраниро-

Таблица 1. Основные типы испытаний на электромагнитную совместимость, проводимые в комплексе

Вид испытаний	Наименование параметра
Создаваемые кондуктивные помехи	Частотная область Временная область
Восприимчивость к кондуктивным помехам	Временная область Частотная область
Собственные излучаемые радиопомехи	Электрическое поле Магнитное поле
Восприимчивость к радиоизлучению	Электрическое поле Магнитное поле
Электростатический разряд	Кондуктивный Радио



Рис. 6. Стенд для проверки на устойчивость к электромагнитным полям

вания все провода питания и сигнальные кабели, которые вводятся в камеру из комнаты оператора от стоек контрольно-проверочной аппаратуры, дополнительно проходят через специальные панели с набором различных типов фильтров (коаксиальных, оптических, волноводных). Это позволяет обеспечить максимальную эффективность экранирования внутри рабочей зоны камеры (см. рис. 4).

Для обеспечения противопожарной безопасности внутри камеры во время проведения испытаний используется комплекс различных средств: датчики дыма, автоматическое запирание дверей, инертный газ. Система вентиляции в камере – аспирационного типа. Комната оператора имеет размеры 3,45 × 6,6 × 2,925 м (см. рис. 5). Она оснащена разнообразным контрольно-измерительным оборудованием: Rohde & Schwarz (модель ESR), Keysight, Tektronix, усилителями мощности Prana и Amplifier Research. Основные параметры лаборатории ЭМС приведены в таблице 2.

Комплекс ЭМС также оборудован магнитостатическим аппаратом для измерения устойчивости аппаратуры

космической техники к наведённым электромагнитным полям (см. рис. 6). Устройство состоит из следующих основных подсистем:

- двух пар катушек Гельмгольца для компенсации (вертикальное поле и горизонтальное поле, выравнивание по локальной оси Север-Юг), обеспечивающих испытательный объём (с неоднородностью 1000 нТ) приблизительно 70 × 70 × 70 см;
- пары катушек Гельмгольца для размагничивания (автоматическая последовательность с полем 4 Гц, амплитуда ~ 4 мТ) и намагничивания (автоматическая трёхминутная последовательность на трёх разных уровнях: 0,1, 0,2 и 0,3 мТ);
- двух трёхкоординатных магнитометров с электроникой и разъёмами для подключения к ПК;
- поворотного стола с электроприводом, кодовым угломером и разъёмом для подключения к ПК;
- персонального компьютера с программным обеспечением для сбора данных, управления, моделирования и формирования отчётов.

Разработанное специалистами ESTEC программное обеспечение получает

данные о плотности магнитного поля от магнитометров и согласовывает эти данные с дипольной моделью путём оптимизации положения и мощности магнитных диполей. Это позволяет спрогнозировать магнитное поле и его градиенты на системном уровне.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

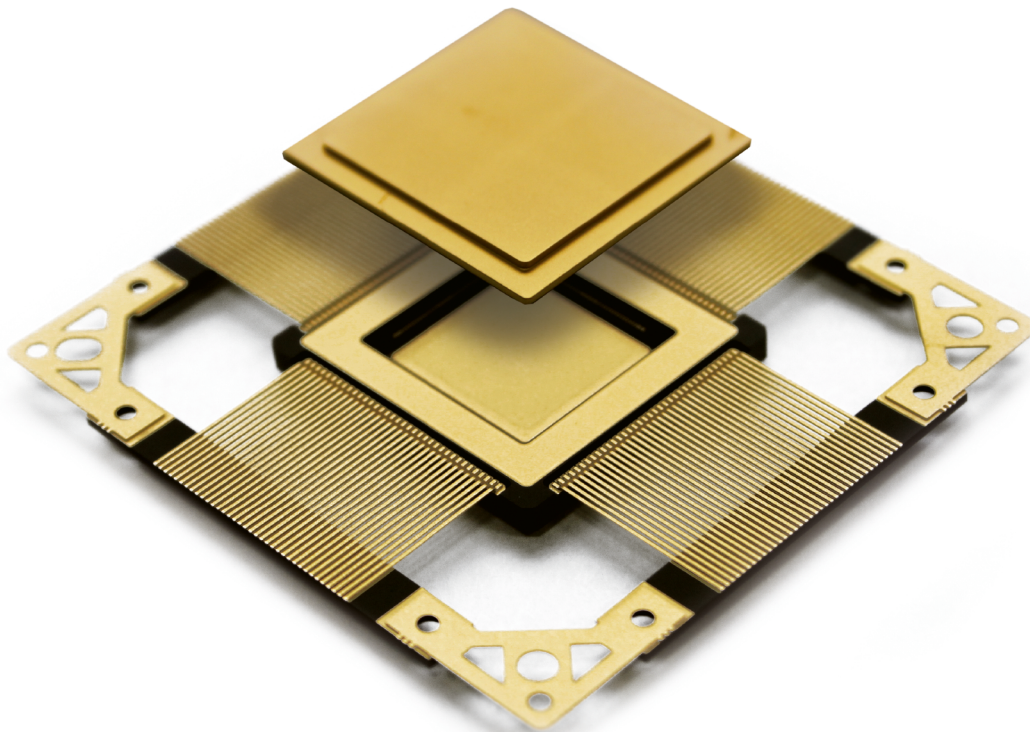
Анализ используемых в Электромагнитной лаборатории решений позволяет сделать вывод о возможности реализации подобных проектов для нужд российских предприятий ракетно-космической промышленности. Общие рекомендации по созданию испытательных лабораторий:

- Наличие отдельных коммуникаций (вентиляция, очистка и кондиционирование воздуха) позволяет создавать необходимый микроклимат и класс частоты внутри помещения камеры. Отдельная шина заземления с рекомендованным сопротивлением 0,5 Ом позволяет исключить проникновение помех от общей шины заземления предприятия.
- Модульные конструкции камер имеют ряд преимуществ перед сварными. Прежде всего, это возможность модернизации экрана камеры за счёт добавления новых секций, а также перемещение и повторная сборка камер в новом помещении. Кроме того, такая конструкция предъявляет пониженные требования к квалификации техников-сборщиков и нет необходимости в сварочных работах.
- Контрольно-измерительное оборудование разных производителей позволяет выбирать оптимальные решения благодаря использованию общих протоколов и интерфейсов передачи данных.
- Наличие российского контрольно-измерительного оборудования и радиопоглощающих материалов позволит уже сейчас частично заменить импортные приборы и материалы при создании испытательных лабораторий.
- При дальнейшем совершенствовании характеристик и расширении частотного диапазона российского оборудования (прежде всего, анализаторов цепей, анализаторов спектра, усилителей мощностей) возможно полное импортозамещение при создании и оснащении испытательных комплексов для проверки электромагнитной совместимости и антенных полигонов.

Таблица 2. Основные параметры комплекса для проведения испытаний на ЭМС

Параметр	Данные
Размер испытательного помещения, м	8,5 × 7,5 × 4,5 (Г × Ш × В)
Размеры комнаты оператора, м	3,4 × 6,6 × 2,9 (Г × Ш × В)
Температура в помещении, °С	20...24
Относительная влажность, %	40...55
Система пожаробнаружения	Системы отбора проб воздуха Wagner Pro-Sense
Система пожаротушения	Инертный газ





ВАШИ КРИСТАЛЛЫ ПОД НАДЕЖНОЙ ЗАЩИТОЙ!

корпуса с радиационной защитой для производства микроэлектроники

ТЕСТПРИБОР

ЗАО «ТЕСТПРИБОР»
125362, г. Москва
ул. Свободы, д. 31, стр. 1
Тел./Факс: (495) 657-87-37
testpribor@test-expert.ru
www.test-expert.ru