

А.Е. Абрамешин, Л.Н. Кечиев

Функциональная безопасность бортовых систем летательных аппаратов при ЭСР

Рассматриваются основные положения нового направления ЭМС – «функциональная безопасность» применительно к воздействию электростатических разрядов на летательные аппараты.

функциональная безопасность, электростатический разряд, летательный аппарат

Введение

Космической промышленности давно известно о проблемах функциональных безопасности, связанных с ЭМС [1–3]. Это определяется применением чувствительной электроники для решения ответственных задач, которые важны с позиций обеспечения безопасности, таких как автопилоты и автоматические системы приземления, системы управления и т.п. Современный летательный аппарат (ЛА) полностью зависит от качества функционирования электроники, даже для ручных средств управления применяются компьютерные системы и сервосистемы.

Все ЛА подвергаются интенсивным электромагнитным воздействиям, например, от радаров аэродромов, широковещательных радиопередатчиков, прямого удара молнии. Военные ЛА дополнительно подвергаются мощным воздействиям средств радиоэлектронной борьбы и соответствующих контрмер. Для космической аппаратуры мощным деструктивным фактором может служить электростатический разряд на кабельные системы и бортовую аппаратуру [4, 5].

Действующие и разрабатываемые стандарты в области ЭМС для авиационной промышленности и космической техники пытаются покрыть всю обозримую область возможных воздействий на ЛА, включая события низкой вероятности, для того, чтобы управлять ЭМС, проектом, разработкой и верификацией (например, тестированием).

Понятие функциональной безопасности

Понятие функциональной безопасности [6] определяет ситуацию, в которой «безопасность» зависит от правильного функционирования оборудования или системы. Точность и надежность электронного оборудования, связанного с безопасностью – проблема функциональной безопасности. При нарушении функциональной безопасности может быть нанесен ущерб здоровью человека, экологии, собственности. Потери космических аппаратов (КА) из-за сбоев в аппаратуре непосредственно могут быть отнесены к категории нарушения функциональной безопасности. Это в большой мере относится к электронным системам КА. К сожалению, все электронные системы КА склонны к погрешностям функционирования, ошибкам в работе, или даже повреждениям, когда они подвергнуты электростатическим разрядам (ЭСР), что является одним из основных видов деструктивных электромагнитных воздействий для данного вида аппаратуры [7, 8, 9].

Большинство законов, инструкций и стандартов в области безопасности или ЭМС, хотя и предусматривают соответствующие испытания на воздействия ЭСР, не отражают вероятность нарушения целостности функциональной безопасности перспективных устройств и систем при ЭСР. В результате пользователи и третьи лица подвергаются увеличенным рискам безопасности, а поставщики подвергнуты возрастающим требованиям ответственности, как показано на рис. 1.

В работах [10–12] показано, что ЭСР является одним из наиболее важных факторов электромагнитного характера, воздействующих на электронные системы КА. Природа накопления статического электричества на обшивке КА и возникновение ЭСР, как правило, на кабельные системы, такова, что устранить ЭСР пока не удается. Поэтому всегда имеется вероятность его возникновения, что требует рассмотрения последствий разряда с позиций функциональной безопасности [13, 14].



Рис. 1. Возрастание проблемы функциональной безопасности электронных систем КА

Электромагнитная обстановка для авиационной и космической аппаратуры

ЛА может находиться в основном луче антенн мощных передатчиков, таким образом, подвергаясь воздействию электромагнитных полей чрезвычайно высокой интенсивности. Электронные системы ЛА в этом случае должны функционировать без нарушения штатного режима. Часто напряженность таких полей может превосходить санитарные нормы, что совместно с техническими трудностями реализации таких полей затрудняет проведение тестирования оборудования.

Частота мощных воздействий может быть различна, но в среднем каждый гражданский самолет находится под воздействием молнии один раз в год. При этом его корпус становится частью канала дуги, что приводит к огромным импульсным токам, текущим через корпус и поэтому через системы. Это требует обеспечение длительной работы систем во время наведенных импульсных токов. Также угроза молнии требует демонстрации структурной целостности и топливной безопасности во время и после ее воздействия. Нужно упомянуть, что самолеты, по своей природе – «летающий топливный бак», и поэтому следует принимать во внимание риски взрыва топлива, особенно в случае удара молнии.

Электростатические разряды для космической аппаратуры представляют серьезную угрозу, воздействуя на кабельные системы космического аппарата. Наведенные токи и напряжения, попадая на входы блоков системы, могут вызвать сбои и другие нарушения работоспособности систем с непредсказуемыми последствиями. Серьезную опасность представляют ЭСР при заправке ЛА топливом, увеличивая риск взрыва при определенных условиях.

Летательные аппараты – с электромагнитной точки зрения полностью модульные объекты, размеры которых лежат в диапазоне от малых беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) до коммерческих широкофюзеляжных самолетов, несущих более 400 пассажиров (например, Боинг 747), и мощных ракет. Системы высоко интегрированы и, в отличие от больших наземных систем (например, систем электроснабжения или сетей телекоммуникаций), в них трудно разбить проблему на отдельные части с электромагнитной точки зрения и при этом быть уверенным, что синергетические эффекты не были пропущены. Рассмотрение такого физически большого объекта предполагает наличие сложных проблем в сфере ЭМС и функциональной безопасности.

Для военных ЛА возникают дополнительные сложности, связанные с преднамеренными угрозами электромагнитного характера, интенсивность которых и вероятность появления растут все время. Они должны также быть приняты во внимание во время проектирования и

тестирования. Для космической промышленности добавляется своя специфическая проблема – ограничения по массе и объему, что влияет на выбор средств защиты и их стоимость.

Электромагнитная среда, в которой ЛА и их системы должны работать без нарушения функциональной безопасности, является наиболее возмущенно среди любых систем. Военные самолеты обязаны работать без нарушения функциональной безопасности в изменяющихся интенсивных электромагнитных средах в течение нескольких лет. Среда, относящаяся к военному самолету, зависит от намеченной роли самолета и поэтому может меняться в зависимости от проекта. Например, самолеты, которые предназначены для палубной авиации, могут находиться на критически малом расстоянии от антенн мощных передатчиков корабля. Это создает чрезвычайно интенсивную электромагнитную среду, для которой должна быть продемонстрирована способность системы противостоять ошибкам.

Внешняя электромагнитная среда, оговоренная как требование к военному самолету, предоставляется разработчиком и обычно задается исходя из действующей нормативно-технической документации. Иногда параметры среды требуют изменения из-за специфических рабочих требований (например, радарные угрозы от другого самолета). Кроме того, электромагнитная среда на поле боя интенсифицируется за счет применения источников мощных электромагнитных полей, различных средств постановки преднамеренных помех и средств радиоборьбы [11]. Самая известная из таких угроз – электромагнитный импульс высотного ядерного взрыва (NEMP) [15], а для КА – наиболее вероятны ЭСР.

Гражданские самолеты за последние годы были оборудованы безопасными критическими электронными системами. Эта работа координировалась рядом международных организаций в области оборудования самолетов (EUROCAE, CAE, EENWG), что позволило достигнуть согласованного набора сред для гражданских самолетов во всем мире.

Электромагнитная среда полей высокой интенсивности (HIRF) разделена на четыре разновидности:

- нормальная среда,
- жесткая среда,
- сертификационная среда,
- жесткая среда для вертолетов.

Нормальная среда – среда HIRF, которая может быть на аэродромах, обычно в результате работы аэродромных передатчиков, которые являются частью рабочей инфраструктуры поддержки. Предполагается, что большинство лайнеров могут находиться в этой среде ежедневно, возможно кратковременно.

Жесткая среда – среда, в которую может попасть самолет в каком-либо районе земного шара. Единственное ограничение – курс полета должен быть в пределах правил, изложенных Международной Организацией Гражданской авиации (ИКАО).

Сертификационная среда основана на жесткой среде, однако, некоторые расстояния между самолетом и передатчиков были переоценены на основе вероятности нахождения в нормальных условиях полета.

Жесткая среда для вертолетов основана на жесткой среде для самолетов, однако в ней приняты намного меньшие расстояния разделения, которые могут быть достигнуты вертолетами, по сравнению с самолетами.

В табл. 1 приведены данные по напряженности мощных электрических полей, которые приняты для сертификации гражданских самолетов [2].

Можно заметить, что даже большие гражданские самолеты, которые не летят на малой высоте или приближаются к мощным передатчикам в коротковолновом диапазоне, обязаны демонстрировать способность электронных систем противостоять чрезвычайно большим полям. В дополнение к требованиям среды HIRF гражданский самолет должен продолжать безопасный полет в течение и после разряда молнии на корпус, согласно требованиям JAA и FAA (Федеральное авиационное агентство США).

Электромагнитная среда HIRF, созданная отдаленными источниками, является только частью среды, в которой должны работать системы. Все самолеты используют встроенные системы радиосвязи, использующие внешне установленные антенны. Такие системы создают электромагнитную среду, внешнюю к корпусу самолета, и это должно быть частью требований, предусмотренных проектом. Кроме того, внутреннее оборудование КА и самолета содержит большое число электрически разнообразных систем (мощные переключатели нагрузки, аналоговые и цифровые системы с низким уровнем сигнала), которые из-за ограниченных габаритов объекта

должны быть установлены в непосредственной близости друг от друга. Наиболее уязвимы в этом случае кабельные системы, в которых низковольтные цепи находятся под воздействием мощных цепей или ЭСР для КА. Внутренняя электромагнитная обстановка и внутрисистемная ЭМС еще одно требование проекта [7].

Таблица 1

Напряженности электрического поля при HIRF для сертификации гражданских самолетов

Частота	Напряженность поля (В/м) для сред							
	Вертолет, жесткие		Самолет, жесткие		Сертификационные		Нормальные	
	Пик	Сред.	Пик	Сред.	Пик	Сред.	Пик	Сред.
10–100 кГц	150	150	50	50	50	50	20	20
100–500 кГц	200	200	60	60	50	50	20	20
500–2000 кГц	200	200	70	70	50	50	30	30
2–30 МГц	200	200	200	200	100	100	100	100
30–70 МГц	200	200	30	30	50	50	10	10
70–100 МГц	200	200	30	30	50	50	10	10
100–200 МГц	200	200	90	30	100	100	30	10
200–400 МГц	200	200	70	70	100	100	10	10
400–700 МГц	730	240	730	80	700	50	700	40
700–1000 ГГц	1400	240	1400	240	700	100	700	40
1–2 ГГц	5000	250	3300	160	2000	200	1300	160
2–4 ГГц	6000	490	4500	490	3000	200	3000	120
4–6 ГГц	7200	400	7200	300	3000	200	3000	160
6–8 ГГц	1100	170	1100	170	1000	200	400	170
8–12 ГГц	5000	330	2600	330	3000	300	1230	230
12–18 ГГц	2000	330	2000	330	2000	200	730	190
18–40 ГГц	1000	420	1000	420	600	200	600	150

Оборудование, используемое в ЛА, обязано быть описанным в терминах восприимчивости к сигналам в частотной и временной области. Эти уровни выбраны как функции напряженности полей окружающей среды, их ослабления корпусом самолета и межсистемным взаимодействием. Кроме того, оборудование должно быть квалифицировано к приемлемым уровням помехозащиты в частотной и временной области. Это позволяет управлять межсистемными уровнями угроз и сдерживается, в основном потребностью минимизировать уровни помех в каналах приемника встроенных систем радиосвязи.

Разработчик должен, во-первых, выбрать соответствующие требования спецификации для оборудования ЛА в соответствии с требованиями для всего ЛА. Важно гарантировать, что проект системной интеграции, проект инсталляции систем и проект корпуса (с электромагнитной точки зрения) дополняют друг друга и направлены на достижение уровня угроз ниже уровней квалификации оборудования, чтобы гарантировать способность систем ЛА успешно противостоять нарушениям целостности функциональной безопасности.

Интегральные схемы (ИМС), на которых построены узлы и блоки систем, становятся более уязвимыми к воздействию электромагнитных помех, электростатических разрядов как прямого, так и косвенного воздействия. Стремление к повышению быстродействия и снижению энергопотребления приводит к применению микросхем с меньшими топологическими нормами, меньшими напряжениями питания, что вызывает их повышенную чувствительность к воздействию импульсных помех. Помехоустойчивость ИМС к воздействию импульсных помех, возникающих при ЭСР, может быть оценена по их характеристике динамической помехоустойчивости (рис. 2) [16]. Характеристика построена в системе координат «длительность помехи τ_n – напряжение помехи V_n ». Чем выше быстродействие микросхемы, тем ближе к началу координат расположена эта характеристика. Из рис. 2 видно, что более быстрая ТТЛШ-схема, чем ТТЛ-схема, имеет характеристику ближе к началу координат, чем ТТЛ. Это говорит о том, что по мере совершенствования компонентной базы, ее чувствительность к воздействию наведенных от ЭСР импульсов возрастает.

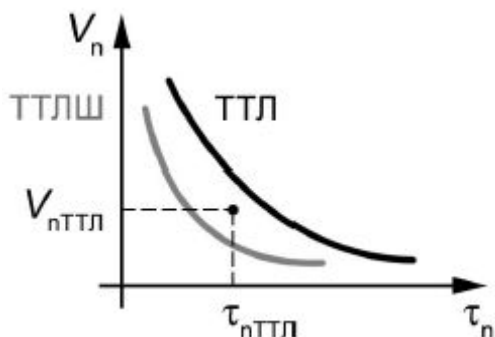


Рис. 2. Характеристика импульсной помехоустойчивости ИМС

Исследование кабельных систем [10, 13] показывает, что они остаются одним из наиболее чувствительных элементов электронных систем ЛА. Их можно рассматривать как «случайные» антенны, эффективно воспринимающие воздействующие поля, в том числе и от ЭСР. Обладая определенным коэффициентом трансформации тока [13], ЭСР возбуждает токи в экранированных кабельных линиях, которые создают напряжения помех на входах электронных блоков системы ЛА.

Работа программного обеспечения зависит от целостности сигнала и качества функционирования ИМС; следовательно, когда ЭСР приводит к нарушению работоспособности ИМС или их повреждению, программное обеспечение может работать со сбоями, вызывая соответственно сбои в работе оборудования и других систем КА, которым оно управляет.

Серьезной проблемой при создании электронных систем является отсутствие стандартов и норм проектирования, которые предусматривают рассмотрение вопросов функциональной безопасности. Не до конца понимая глубину этой проблемы, изготовители стоят на позиции, что устойчивость – проблема надежности, и поэтому должна быть предоставлена на выбор потребителя. Даже, если показатели надежности оговариваются, то зависимость этих показателей с функциональной безопасностью не очевидна. Так, каналы параллельного резервирования при электромагнитных воздействиях могут быть поражены одновременно, что нивелирует все позитивные свойства параллельного резервирования. Следовательно, надежность и ЭМ-стойкость электроники, когда речь идет о связанных с функциональной безопасностью применениях, не связаны между собой и не координируются в каких-либо документах.

Эта разобщенность, являющаяся результатом проблем, описанных выше и проиллюстрированных на рис. 1, приводит к увеличенным опасностям для пользователей почти любого вида оборудования или транспортных средств, и для третьих лиц. Одновременно, следует отметить, что поставщики электронных систем для ЛА все более и более подвергнуты огромным рискам ответственности за функционирование изделия, учитывая экономические, социальные, военные факторы.

В космической отрасли, как и в ряде других отраслей промышленности, разработчики традиционно обращались к проблеме ЭМС как проблеме, связанной с безопасностью, скорее из собственного понимания ответственности, чем из потребности исполнить определенные инструкции и стандарты. Стоит вопрос: является ли подход, основанный на рассмотрении функциональной безопасности через проблему ЭМС адекватным?

Что охватывает ЭМС?

ЭМС определяется, как способность аппаратуры работать одновременно с другими средствами в реальной электромагнитной обстановке, выполняя штатные функции, не создавая помех другим средствам. Внешние воздействия подразумевают помехи естественного и техногенного происхождения, включая ЭСР. Частотный спектр помеховых воздействий простирается в диапазон многих гигагерц. Наличие помех может привести к сбоям в работе электронных средств, в ряде случаев и к выходу их из строя.

Аппаратура ЛА должна отвечать требованиям ЭМС, и важность этого фактора подтверждается следующими основными тенденциями в технологии:

- усложнение электромагнитной обстановки (ЭМО) на всех этапах жизненного цикла ЛА аппарата (например, от изготовления до орбитального полета КА),
- возрастание числа ключевых элементов, генерирующих импульсные помехи при переключении, как неизбежный побочный продукт цифровой техники, что приводит к расширению спектра помеховых сигналов внутри объекта,
- кристаллы полупроводниковых ИМС имеют меньшие физические размеры и уровни информационных и питающих напряжений и, как прямое следствие этого, более вероятно будут испытывать сбои или повреждения из-за ЭМ помех,
- расширенное применение электроники для управления исполнительными механизмами, которые заменяют механические, гидравлические и т.п. устройства.

Что охватывает безопасность?

Безопасность – термин, использованный, чтобы обозначить понятие согласованного понимания опасностей, и их рисков, которые являются приемлемыми для данного общества [6].

Некоторые типы действий несут большие опасности или риски, чем другие. Законы о безопасности вообще требуют, чтобы продукция была разработана и произведена столь же безопасной, как общество «имеет право ожидать». т.е. безопасность в определенной мере социальная категория.

Функциональная безопасность – термин, использованный, чтобы охватить опасности и риски, связанные с ошибками или сбоями в функционировании устройства или аппарата. Это отлично от собственной безопасности, которая определяет потенциал устройства противостоять таким опасностям, как огонь, удар током, ядовитые пары и т.п.

Разработчики связанных с безопасностью систем ЛА, должны определить параметры безопасности. Они должны включать возможные опасности и исследования рисков, которые принимаются во внимание, по крайней мере, из-за следующих разумно обозримых факторов:

- неправильное применение системы: или случайное (например, неправильная инсталляция или человеческая ошибка), или преднамеренное (например, перегрузка или использование для непреднамеренной цели),
- ошибки в проекте, особенно влияющие на отказы и сбои электронных систем,
- экстремальные значения внешних воздействий, включая электромагнитные воздействия, высокие температуры, вибрации, комплексные воздействия и т.п., которые могут встретиться в жизненном цикле ЛА.
- последствия (опасности), с их вероятностями (риски).

Параметр безопасности также должен включать анализ того, достигает ли проект безопасности, которую общество «имеет право ожидать», и что требуется сделать, чтобы достигнуть этого.

Отношения ЭМС и функциональной безопасности

Всегда, когда электронное устройство управляет прибором или системой, которая в случае нарушения штатного режима приводит к более высокому риску, тогда точность и надежность электроники становятся проблемой безопасности. Но все типы электроники восприимчивы к погрешностям, сбоям или повреждениям из-за ЭМ помех; следовательно, опасности или риски могут быть усилены отсутствием адекватных показателей ЭМС.

Разработчики полагают, что любое оборудование, которое, как объявляет его изготовитель, было выполнено в соответствии со стандартами или Директивами ЭМС, должно быть свободным от всех проблем ЭМС. Но эти нормативные документы направлены исключительно на устранение технических барьеров в торговле и не могут из-за их ограниченной природы должным образом иметь дело с проблемами функциональной безопасности, связанными с ЭМС. При рассмотрении ЭМС принимается во внимание только нормальное функционирование и типичная ЭМО (рис. 3) [3]. В отличие от этого, при рассмотрении вопросов безопасности принимаются во внимание разумно обозримые события низкой вероятности, человеческие ошибки и возможность ошибок в применении, наличие перегрузок и экологические экстремальные значения.

Основные задачи, которые следует решать при разработке электронных систем ЛА с учетом факторов функциональной безопасности, можно свести к следующим:

- определение угроз электромагнитного характера (прежде всего ЭСР для космической аппаратуры), которые могут воздействовать на аппаратуру,
- выявление последствий после критических уровней электромагнитных воздействий,
- выявление последствий помехоэмиссии окружающего оборудования,
- определение разумно обозримых количественных оценок нарушения функциональной безопасности,
- определение методов и средств достижения необходимого уровня безопасности,
- документальное подтверждение достижения требуемого уровня функциональной безопасности.

Важен экономический фактор обеспечения функциональной безопасности. Даже один проект, в котором нарушена функциональная безопасность, может привести к таким экономическим потерям, которые не будут компенсированы множеством удавшихся проектов. Кроме того, единственный инцидент безопасности может коренным образом подорвать репутацию компании.



Рис. 3. Схематическое изображение охвата параметров ЭМО, в котором может работать электронное оборудование, с нормами стандартов и Директив

Обзор критических систем ЛА

Применение электроники в системах, выполняющих критические функции безопасности ЛА, непрерывно возрастает. Примером таких систем являются: средства управления полетом, средства управления двигателем, система управления питанием.

Если любая из этих систем не выполняет заданных функций, то возможен высокий риск потери ЛА. Есть другие системы, которые могут быть важны с позиций функциональной безопасности или непосредственно связаны с ней: системы дисплея кабины, системы управления топливной системой, системы обработки данных. В результате увеличивающейся интеграции в системах ЛА еще много других функций вовлекаются в безопасный полет самолета либо во время нормальной работы или во время внештатной ситуации.

Чтобы достигнуть надежности, требуемой для безопасности критических систем (потеря функции по любой причине должна происходить меньше, чем однажды за 10^7 лётных часов для военного самолета и один раз за 10^9 – для гражданского самолета) [3], такие системы формируются избыточными с параллельным резервированием. Например, система управления полетом полностью использует электронные системы в виде квадруплексных систем для военного самолета и часто квантиплексные для гражданского самолета. К сожалению, такая избыточность не обязательно защищает систему против эффектов облучения электромагнитными полями, потому что все избыточные системные каналы могут быть подвержены этой угрозе одновременно и могут функционировать ошибочно, что приведет к сбоям.

Процесс квалификации

Проект и процесс разработки, показанный на рис. 4, стал принятым для проектирования, разработки и квалификации интегрированного комплекса, обеспечивающего безопасность критических систем в ЛА. Философия процесса базируется на верификации проекта как можно раньше (то есть уменьшения риска, связанного с незащищенностью системы, на возможно более ранних стадиях проекта) [16]. При реализации концепции «сдвига влево» верификация проводится на возможно более ранних этапах проектирования, что позволяет экономить средства и сокращать сроки проектирования. Квалификация завершеного проекта ЛА основана на пяти источниках данных, а именно:

- данные доступны для анализа,
- тестирование корпуса и компонентов инсталлированной системы,
- тестирование оборудования,
- анализ результатов моделирования,
- тестирование ЛА в целом.

Такой широкий спектр данных является результатом понимания, что невозможно проверить все системы, во всех режимах, на всех частотах, при всех видах модуляций и при всех направлениях облучения. Квалификация поэтому проводится в зависимости от критичности

объекта.

Использование моделирования способствует совершенствованию проекта. Это позволяет получить количественные данные для спецификации проекта и экспертизы критических областей, требующих отклонений от проекта. Моделирование важно для определения уровней тестирования, получения данных в тех направлениях, в которых не может быть проведено экспериментальное исследование [11, 14, 15].

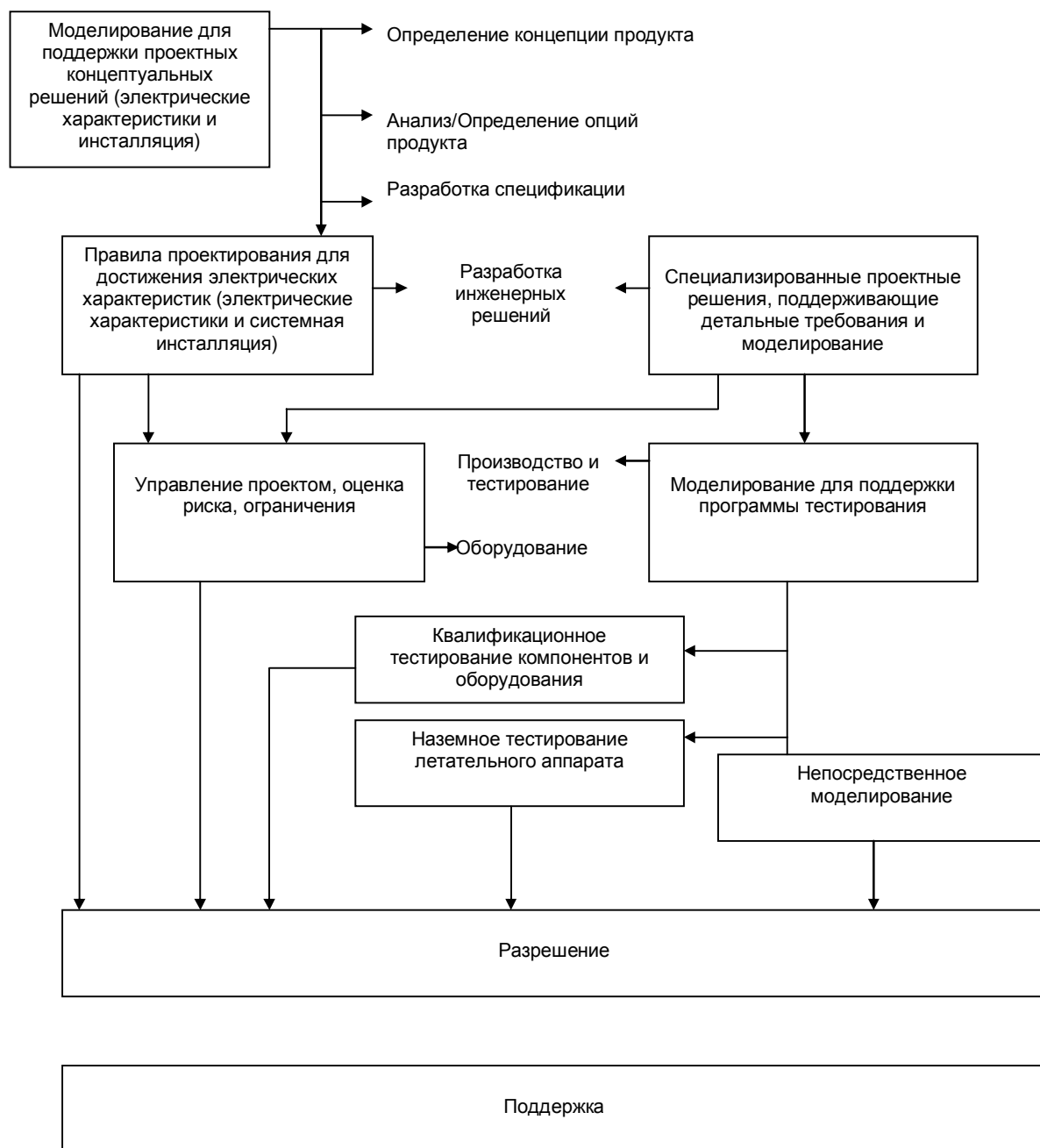


Рис. 4. Процедуры проектирования оборудования с учетом функциональной безопасности

Процесс проектирования и разработки (рис. 4) более или менее принят для создания сложного бортового оборудования систем, однако не весь процесс может всегда использоваться. Например, из-за чрезвычайно протяженного жизненного цикла корпуса ЛА по сравнению с временем, при котором системы становятся устаревшими, используется модернизация систем в пределах существующего корпуса. Нужно помнить, что специалисты, не осведомленные в вопросах ЭМС, должны быть проинформированы об соответствующих особенностях продукта. Системы в ЛА остаются установленными относительно друг друга однажды при завершении проекта, и квалификация закончена, разнообразие внешней обстановки и угроз огромно. Кроме того, самолет и его системы должны изменяться за счет модернизации при длительном сроке

службы самолета (более 30 лет), что создает проблему мониторинга.

Тестирование

Процесс тестирования ведется на многих уровнях, а именно:

- компоненты (например, соединители, экранирующие материалы кабелей),
- оборудование (например, компьютер контроля полета),
- компонент корпуса (например, крылья),
- ЛА в целом.

Известны различные испытательные методики для комплексного тестирования, и они по сути не отличаются от применяемых в коммерческих или промышленных секторах. Методики испытаний непрерывно совершенствуются, а документы, на которые при этом ссылаются, должны быть последними их версиями. В них отражены те проблемы, которые возникли в результате изменений в технологических и экономических областях. Типичные изменения касаются:

- повышения точности и воспроизводимости результатов тестирования,
- сокращения стоимости тестирования,
- воспроизведение электромагнитной среды, которая более адекватно отражает реальную ситуацию.

Тестирование компонентов корпуса ЛА часто ограничивается тестированием жизнеспособности при воздействии молнии, и детали таких испытательных процедур реализуются в зависимости от конкретного случая. В случае проверки ЛА в целом подобные процедуры включают:

- облучение высокого уровня большого объекта,
- облучение высокого уровня на уровне земли,
- испытания систем при соответствующих режимах полета,
- планирование процедур тестирования, чтобы гарантировать эффективную квалификацию в пределах реалистического бюджета.

Тестирование отдельных компонентов системы должно проводиться раньше, чем ЛА в целом. Это позволяет выявить проблемы риска отказов на более ранних стадиях, что минимизирует стоимость коррекций и доработок.

Заключение

В современных условиях непрерывно требуется применение новых решений для обеспечения ЭМС и функциональной безопасности. Это определяется следующими факторами:

- постоянное возрастание уровней угроз электромагнитного характера,
- все большая интеграция модульной авиационной радиоэлектроника,
- расширенное применение электромеханических устройств, сервомеханизмов и т.п.,
- ужесточение требований на штатную гарантию стойкости,
- стремление к использованию коммерческих компонентов.

Увеличивающиеся уровни угроз и разнообразие сигналов, для которых должны быть квалифицированы ЛА, требуют, чтобы постоянное совершенствование процесса разработки гарантировало достижение эффективных затрат в пределах возможных ограничений бюджета.

Самолеты в целом проверяют по различным методикам. Перспективны такие, как инжекция тока непосредственно на корпус, позволяющая снизить уровни питания, требуемое для моделирования поля большой напряженности в полосах УКВ и СВЧ. На более высоких частотах перспективны методики на основе моделирования, которые не требуют дорогостоящего оборудования. Комбинация экспериментально-аналитических методов исследования также перспективна.

Понятие архитектуры систем ЛА связано с аппаратной и программной реализацией будущих систем, относящихся к авионике, в реконфигурируемые модули многократного использования. В настоящее время каждая часть оборудования в ЛА уникальна для выполнения специфической функции в этом ЛА. В случае применения модульного оборудования будет только небольшое функциональное различие (с аппаратной точки зрения) в модулях, упакованных тождественно и установленных в стойках. Функциональные возможности модулей будут реализовываться за счет программного обеспечения, используемого в пределах модуля. Системы будут быстро реконфигурируемы на земле и, в конечном счете, реконфигурируемы в воздухе, поскольку возникают ошибки и изменение функций. Стоимость модулей будет уменьшена по сравнению с существующим оборудованием самолета. Вызов проблеме ЭМС – разработка тестов

для модулей, на системном уровне и на уровне целого ЛА, который может иметь ограничения стоимости и гибкость новой архитектуры.

Важной тенденцией является сокращение использования гидравлики в системах ЛА, таких как выпуск шасси и средства управления. Мощные электроприводы заменяют гидравлические устройства, что неизбежно приведет к намного более высоким токам, текущим в кабелях систем и корпусе, чем в настоящее время.

Эта совокупность систем с низким уровнем чувствительности и чрезвычайно высокими мощностными параметрами, расположенных в непосредственной близости, потребуют пересмотра руководств по проектированию и практики инсталляции систем.

Большая часть электромагнитной защиты в системах ЛА гарантирует, что критические функции безопасности не нарушены во время облучения в полях высокой интенсивности. Должны быть проведены испытания для подтверждения этого. Во время жизненного цикла изнашивание, старение и повреждения приведут к изменениям эффективности защиты. Такие изменения трудно проверить во время срока службы, и такое тестирование трудно или даже невозможно выполнить. Эта проблема требует решения.

Чтобы уменьшить системную стоимость, в ЛА используют коммерческое оборудование, что является очередной проблемой в обеспечении ЭМС и функциональной безопасности. Такой подход должен опираться на выверенные методы проектирования и методики тестирования.

Список литературы

1. Бурутин А.Г., Балюк Н.В., Кечиев Л.Н.. Электромагнитные эффекты среды и функциональная безопасность радиоэлектронных систем вооружения. . – Технологии ЭМС. – 2010. – № 1(40). – С. 3–27.
2. IEE Guidance Document on EMC & Functional Safety. – IEE. – 2008. – P. 177.
3. Armstrong K. EMC-Related Functional Safety of Electronically Controlled Equipment. – Compliance Engineering. – 2001. – № 1. – P. 24–32.
4. Кечиев Л.Н., Пожидаев Е.Д. Защита электронных средств от воздействия статического электричества/ Учеб. пособие для вузов. – М.: Издательский Дом «Технологии», 2005. – 352 с.
5. Белик Г.А., Абрамешин А.Е., Саенко В.С. Внутренняя электризация бортовой радиоэлектронной аппаратуры космических аппаратов. – Технологии ЭМС. – 2012. – В настоящем номере.
6. Смит Д.Д. Функциональная безопасность. Простое руководство по применению стандарта МЭК 61508 и связанных с ним стандартов/ Дэвид Дж. Смит, Кеннет Дж. Л. Симпсон – М. Издательский Дом «Технологии», 2004. – 208 с.
7. Кириллов В.Ю., Малистин А.И., Марченко М.В. Испытания бортовой системы управления космического аппарата KazSat-2 на помехоустойчивость к электростатическим разрядам. – Технологии ЭМС. – 2012. – № 1(40). – С. 3–9.
8. Кириллов В.Ю., Марченко М.В. Зависимость эффективности экранирования кабелей от переходного сопротивления при воздействии электростатического разряда. – Технологии ЭМС. – 2012. – № 1(40). – С. 10–14.
9. Абрамешин А.Е., Жаднов В.В., Жаднов И.В. Расчетная оценка надежности электронных модулей аппаратуры космических аппаратов. – Технологии ЭМС. – 2012. – № 1(40). – С. 29–33.
10. Кириллов В.Ю., Марченко М.В. Алгоритм оптимального определения параметров плетеного экрана кабеля с учетом ограничения напряжения на внутренних проводниках. – Технологии ЭМС. – 2011. – № 4(39). – С. 62–64.
11. Бзыта В.И., Варюхин Е.Г., Виноградов К.А., Дубровин Е.А., Крохалев Д.И., Сидорюк П.А. Метрологическое обеспечение испытаний вооружения и военной техники на действие электромагнитных факторов природного и техногенного происхождения. – Технологии ЭМС. – 2010. – № 1(32). – С. 67–72.
12. Комягин С.И., Соколов А.Б. Требования по стойкости радиоэлектронной аппаратуры летательных аппаратов в условиях воздействия электростатических разрядов. – Технологии ЭМС. – 2008. – № 2(25). – С. 3–8.
13. Агапов В.В. Испытательный стенд для определения помех от электростатических разрядов в кабелях космических аппаратов. . – Технологии ЭМС. – 2009. – № 2(29). – С. 72–75.

14. Соколов А.Б., Саенко В.С. Моделирование изменений радиационной электропроводности полимеров внешней поверхности космических аппаратов при воздействии факторов космического пространства. – Технологии ЭМС. – 2008. – № 2(25). – С. 9–11.
15. Балуок Н.В., Кечиев Л.Н., Степанов П.В. Мощный электромагнитный импульс: воздействие на электронные средства и методы защиты. – М.: ООО «Группа ИДТ», 2007. – 478 с.
16. Кечиев Л.Н. Проектирование печатных плат для цифровой быстродействующей аппаратуры. – М.: – М.: ООО «Группа ИДТ», 2007. – 616 с.

*Московский институт электроники и математики Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики» (МИЭМ НИУ ВШЭ)
Статья поступила 15.01.2012*

Abrameshin A.E. Kechiev L.N.

Functional safety of onboard systems of space craft at ESD

Substantive provisions of a new direction EMC – functional safety with reference to influence of electrostatic discharge on space craft are considered.

functional safety, electrostatic discharge, space craft

Moscow Institute of Electronics and Mathematics, Higher School of Economics (MIEM HSE)