
УДК 621.315.21

Возможности компьютерного моделирования при решении задач электромагнитной совместимости бортовых кабельных сетей самолетов

А.В. Клыков, В. Ю. Кириллов

Аннотация:

В статье проводится анализ возможностей компьютерного моделирования для решения задач электромагнитной совместимости (ЭМС) бортовых кабельных сетей (БКС) самолетов.

Ключевые слова:

электромагнитная совместимость; электромагнитная помеха; бортовая кабельная сеть; самолет; компьютерное моделирование; радиочастотные поля высокой интенсивности.

Введение

В последние годы существенно возросло значение как внутрисистемной ЭМС радиоэлектронного, электронного и электротехнического бортового оборудования (БО) самолетов, так и защиты БО от электромагнитных помех (ЭМП). Одним из наиболее очевидных путей проникновения ЭМП в БО являются БКС.

Анализ последних публикаций по вопросам значения ЭМС и защиты от ЭМП самолетов показывает, что, хотя и проанализированы вопросы общей ЭМС БО самолетов и его защиты от ЭМП, однако значение БКС с этой точки зрения и возможности компьютерного моделирования не раскрыты.

Целью статьи является анализ БКС в современном авиационном оборудовании и описание возможностей компьютерного моделирования для исследования ЭМС БКС самолетов.

Анализ современного состояния БКС отечественных и зарубежных самолетов показывает, что процесс их развития неразрывно связан с процессом совершенствования самих самолетов, комплексов их БО и их системы электроснабжения (СЭС).

В 70–80-е годы XX века в зарубежной литературе появилась терминология: All Electric Aircraft (полностью электрифицированный самолет – ПЭС). В концепции реализации возможно полной электрификации самолета «ПЭС» понимается как самолет с единой СЭС, обеспечивающей питанием все системы БО. Ввиду того, что при том уровне технического развития не представлялось возможным реализовать идеи концепции ПЭС в полном объеме, в конце 90-х годов появилась концепция: More Electric Aircraft (более электрифицированного самолета – БЭС). Согласно данной концепции повышение уровня электрификации самолетов должно проводиться поэтапно.

Среди российских специалистов и авиационных фирм, предпринимающих попытку реализации концепций БЭС и ПЭС, встречаются определения «самолет с повышенным уровнем электрификации» (СПУЭ) и «самолет с полностью электрифицированным оборудованием» (СПЭО). По мнению авторов [1, 2], определения «БЭС» и «ПЭС» не только неточно отражает сущность предмета исследования «электрификации» самолета, но и входит в некоторое противоречие с устоявшейся терминологией иных транспортных средств («электрифицированный железнодорожный транспорт», «электромобиль»), где даже в качестве первичного источника энергии может применяться электроэнергия, а для силовых приводных механизмов используются электрические машины [3].

На современном этапе авиастроения актуальность обеспечения ЭМС самолетных систем, защиты БО от внешних ЭМП, обеспечения надежной передачи энергии и информации по БКС возрастает. Этому способствуют следующие факторы: развитие электроники и силовой электроники, открывшее реальные перспективы внедрения цифровых систем управления электроэнергетическими комплексами, мощных полупроводниковых преобразовательных устройств, бесконтактной твердотельной коммутационной и защитной аппаратуры; рост числа и мощности приемников электрической энергии, переход к электродистанционной системе управления, к концепциям СПУЭ и СПЭО, – все это обуславливает непрерывное увеличение установленной мощности СЭС и повышения требований, предъявляемых к их массоэнергетическим, эксплуатационно-техническим характеристикам, качеству электрической энергии и качеству её передачи к приемникам, кроме того, также рост потребления электроэнергии вызывает проблему перехода на питание потребителей током повышенного уровня напряжения; ухудшение экранирующих свойств планера, вследствие расширения применения композитных материалов; усложнение электромагнитной обстановки (ЭМО) и ухудшению электромагнитной экологии из-за электромагнитного загрязнения окружающей среды, вызванного интенсивным и неконтролируемым авиационными властями увеличением количества и мощности источников электромагнитных полей высокой интенсивности; по-

стоянно расширяющееся внедрение электронных и электрических систем, выполняющих функции необходимые для безопасного продолжения полета и посадки [4, 5].

Это вынуждает проводить активную работу по поиску и внедрению новых эффективных технических решений [2].

Важной задачей в авиастроении является обеспечение защиты БО от внешних ЭМП. Наиболее опасными ЭМП для БО являются электромагнитные поля высокой интенсивности и воздействие молнии. Источниками электромагнитных полей высокой интенсивности являются передатчики, преднамеренно излучающие электромагнитную энергию, например, радио- и телепередатчики, метеорадары, радары наземных средств управления воздушным движением, различные военные системы наземного и воздушного базирования, такие как системы радиолокационного обнаружения, средства радиоэлектронной борьбы и противодействия, электромагнитное оружие. При воздействии на самолет электромагнитного поля возникает взаимодействие конструкции самолета с полем. Электронное оборудование, расположенное внутри самолета, подвергается влиянию двух типов опасных воздействий: наведенным токам и электромагнитному полю. Удар молнии происходит один раз на каждые 3000 часов полета (примерно раз в год) коммерческих самолетов и может привести к физическому разрушению самолета, а также повлиять на функционирование бортовых систем. Взаимодействие молнии с обшивкой самолета вызывает появление в ней электрического тока, который создает электрическое и магнитное поля во внутреннем объеме конструкции самолета, что может привести к повреждению БО самолетов. Для определения уровней напряжений и токов, индуцируемых электромагнитным полем в БКС самолета необходимо определить параметры ЭМО [4].

В настоящее время ЭМО во внутреннем объеме конструкции самолетов, условия обеспечения ЭМС самолетных систем и защиты БО от ЭМП определяются опытным путем в основном по результатам лабораторных, стендовых и наземных полевых испытаний. В процессе испытаний определяется восприимчивость оборудования и получается передаточная функция самолета, позволяющая определить связь между параметрами электромагнитного поля и снаружи и внутри самолета, где расположено БО. Технология анализа условий обеспечения ЭМС, основанная на практических измерениях требует больших материальных и временных затрат. Для уменьшения материальных и временных затрат на исследование ЭМС БО и разработку методов его защиты от ЭМП, необходимо применение методов их моделирования ЭМО и физических процессов воздействия ЭМП на элементы и устройства бортовых систем.

Целями моделирования является построение адекватной модели БКС, разработка алгоритмов моделирования ЭМС, помехоэмиссии и восприимчивости к ЭМП, создаваемым источниками различного типа.

Достижение поставленной цели предполагает решение ряда задач, среди которых: определение параметров ЭМП, воздействующих на самолет; построение компьютерной модели самолета, БО и БКС; исследование путем моделирования физических процессов проникновения и распространения ЭМП в конструкции самолета; исследование восприимчивости БКС к ЭМП; разработка методов и технических средств для защиты БКС и БО от ЭМП.

Для моделирования ЭМС элементов БКС, воздействия ЭМП на БКС, исследования восприимчивости к ЭМП и помехоэмиссии от БКС можно использовать различные программные комплексы, способные решать задачи ЭМС. Среди них рассмотрим и проанализируем возможности трех программных комплексов (см. таблицу 1): CST Studio Suite [6, 7]; FEKO Suite 6.1 [8, 9]; EMC Studio 6.0 [10, 11].

Таблица 1 – Сравнительный анализ рассматриваемых программных комплексов

Параметры сравнения \ Программный комплекс		CST Studio Suite 2011	FEKO Suite 6.1	EMC Studio 6.0
Составляющие моделей кабелей и жгутов	Одиночные провода	+	+	+
	Коаксиальные провода	+	+	+
	Плоские многожильные провода	+	+	+
	Витые пары	+	+	+
	Витые тройки, четверки	+	+	-
	Экраны (сплошные, плетеные)	+	+	+
Моделирование сложных кабелей и жгутов с неограниченным числом проводников		+	+	+
Моделирование прохождения различных видов сигналов по проводникам		+	-	+
Расчет напряжений и токов в проводниках		+	+	+
Расчет перекрестных связей в кабелях и жгутах		+	+	+
Расчет восприимчивости к ЭМП	Электромагнитные поля высокой интенсивности	+	+	+
	Воздействие молнии	+	-	-
Расчет помехоэмиссии от кабелей и жгутов		+	+	+

Примечание: «+» – выполняется программным пакетом; «-» – не выполняется программным пакетом.

Основные требования, предъявляемые к программным комплексам данного типа формулируются следующим образом: моделирование ЭМП в кабелях и сложных жгутах с неограниченным числом проводников (одиночные провода; витые пары, тройки, четверки;

коаксиальные провода; плоские многожильные провода) от прохождения по ним различных видов сигналов; расчет напряжения в разных точках кабелей, протекающих токов через определенные проводники, S-параметры, импедансы; расчет восприимчивости проводников к ЭМП, создаваемым источниками различного типа и помехоэмиссии от кабелей.

Наиболее подвержены воздействию ЭМП кабельные жгуты расположенные внутри конструкций из композитных материалов. Рассмотрим пример моделирования в программе CST Studio Suite 2011 восприимчивости к электромагнитному полю высокой интенсивности экранированного кабельного жгута проходящего по заднему лонжерону композитного крыла от фюзеляжа до законцовки крыла. Моделирование восприимчивости проводится на частотах от 15 кГц до 1 ГГц. В модели используется упрощенная модель композитного крыла, в которой используется только обшивка крыла (рисунок 1). На композитное крыло и экранированный кабельный жгут воздействует плоская электромагнитная волна (рисунок 2) напряженностью 100 В/м (рисунки 3, 4) по категории W раздела 20 (радиочастотная восприимчивость) АС 1.1.160F-2008 [12].

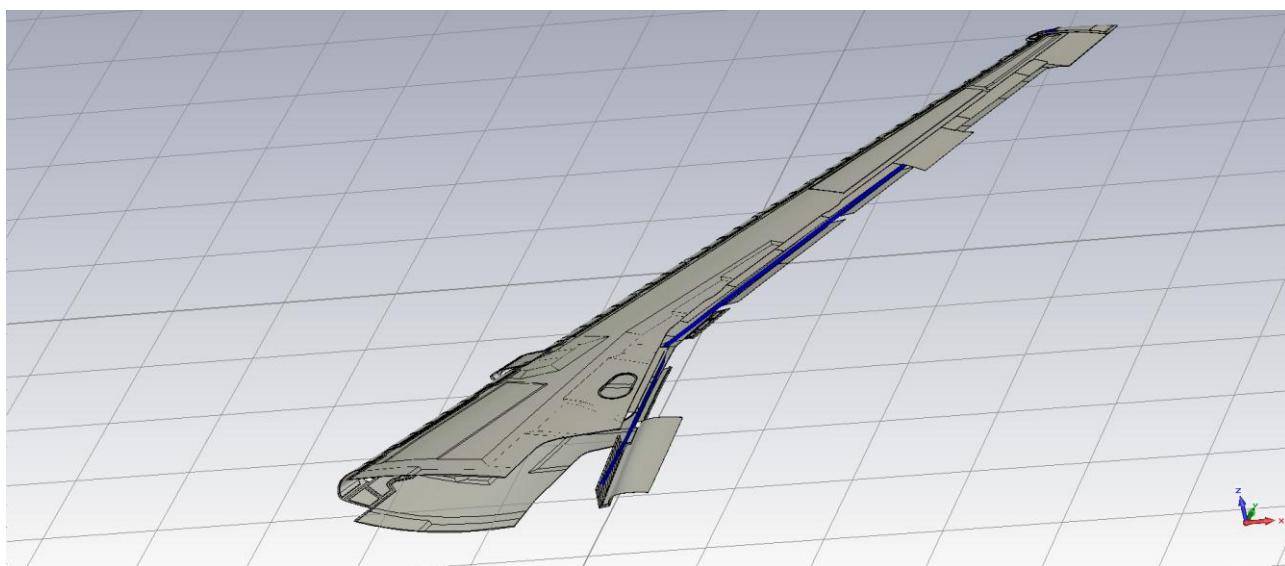


Рисунок 1 – Упрощенная модель композитного крыла

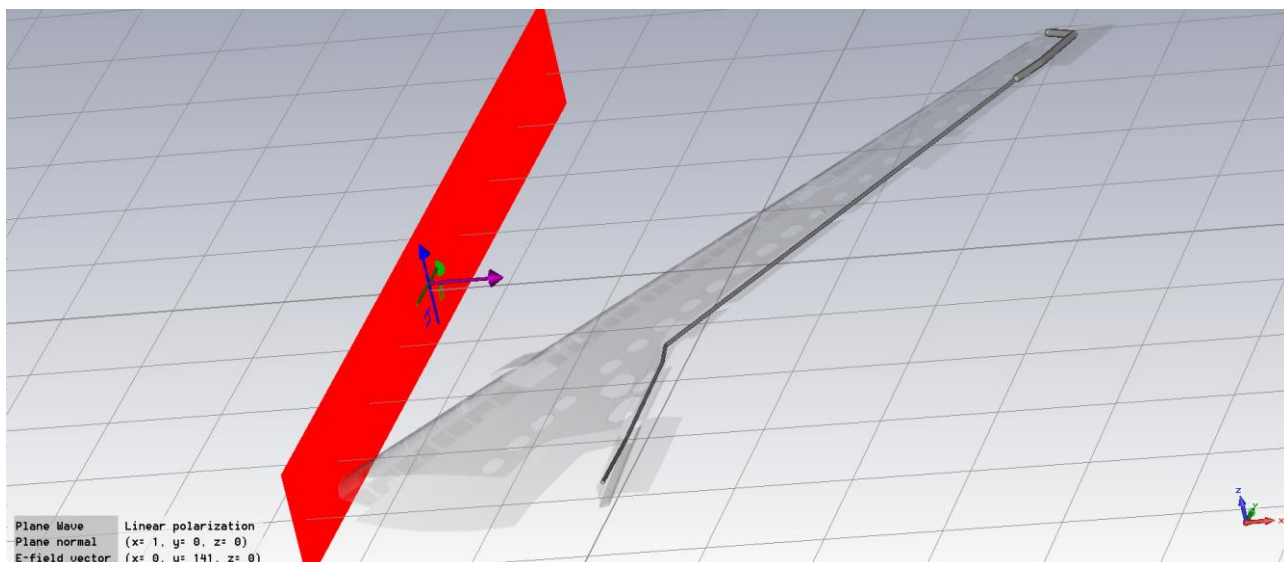


Рисунок 2 – Плоская электромагнитная волна, воздействующая на композитное крыло

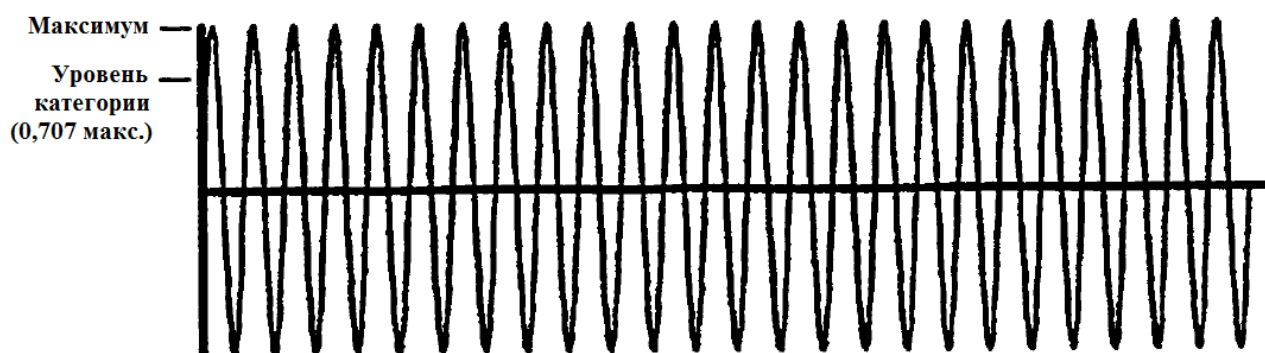


Рисунок 3 – Форма кривой немодулированного сигнала плоской электромагнитной волны по разделу 20 АС 1.1.160F-2008

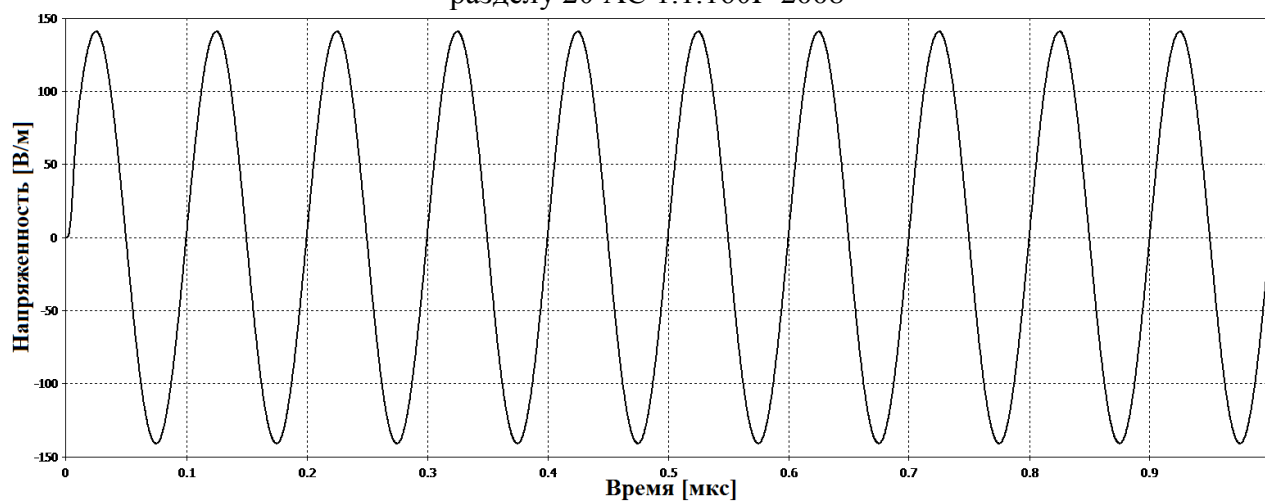


Рисунок 4 – Зависимость амплитуды от времени немодулированного сигнала плоской электромагнитной волны

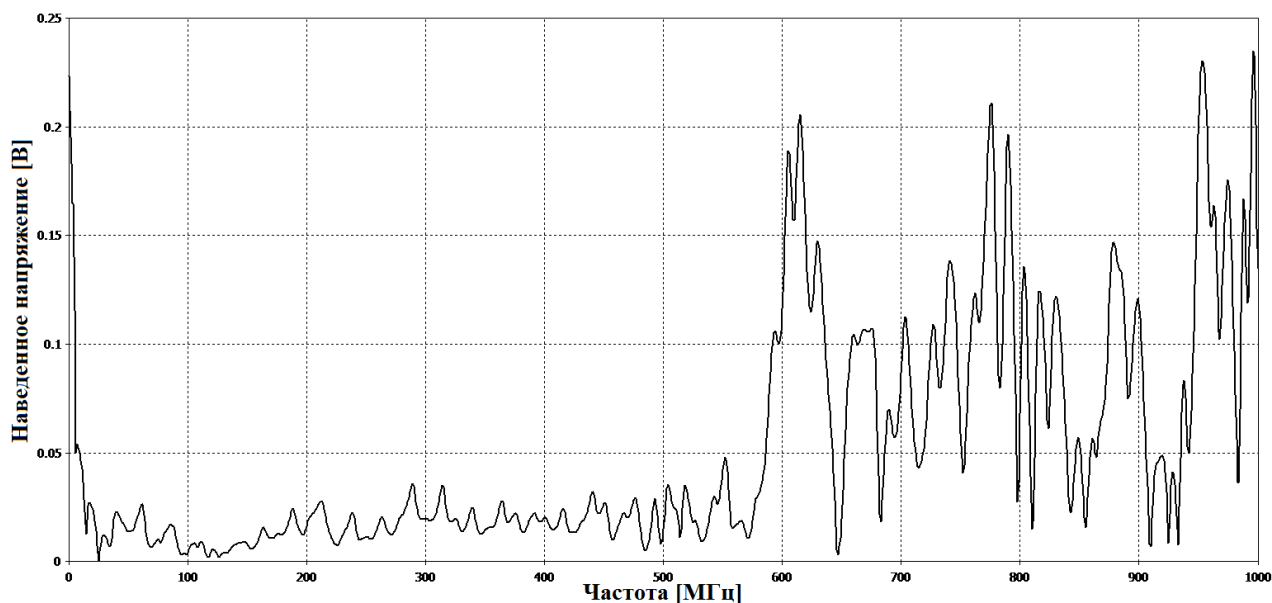


Рисунок 5 – Частотный спектр наведенного напряжения в кабеле от плоской электромагнитной волны

Из рисунка 5 видно, что применяемый в экранированном кабельном жгуте плетеный экран обеспечивает определенный уровень защиты от представленного электромагнитного поля высокой интенсивности. С помощью моделирования восприимчивости можно подобрать наилучший с точки зрения экранирования и массогабаритных показателей экран, который будет обеспечивать необходимое экранирование от электромагнитных полей высокой интенсивности или других ЭМП.

Заключение

В целом компьютерное моделирование с помощью рассмотренных программных комплексов позволяет:

- сократить часть экспериментальных работ, направленных на обеспечение ЭМС и защиты от ЭМП, тем самым экономя временные и материальные ресурсы, затрачиваемые на проектирование;
- определить области и величину завышенных требований по обеспечению ЭМС и защиты от ЭМП;
- разработчикам самолетов и БО уменьшать массогабаритные показатели и энергопотребление, увеличивать надежность систем БО, а также дополнительно экономить временные и материальные ресурсы.

Библиографический список

1. Брускин Д.Э. Самолеты с полностью электрифицированным оборудованием. Сер. Электрооборудование транспорта. – Т. 6 / Д.Э. Брускин, С.И. Зубакин. – М.: ВИНТИ, 1986. – 108 с.
2. Кузьмичев Р.В. Генератор в системе электроснабжения самолета с повышенным уровнем электрификации – ОАО «ОКБ Сухого»
http://www.uacrussia.ru/common/img/uploaded/news/conf_kadry_MAKS_2009/konkurs/Kuzmichev.pdf, август 2009.
3. Гарганеев А.Г., Харитонов С.А. Техничко-экономические оценки создания самолета с полностью электрифицированным оборудованием / Доклады ТУСУРа, № 2 (20), декабрь 2009. – С.179-184.
4. Шмырев В.Ф., Фомичев К.Ф. Современные аспекты защиты бортового оборудования летательных аппаратов от электромагнитных воздействий. Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского “ХАИ”, Харьков / Системы обработки информации. – Харьков: ХУПС, 2011. – Вып. 4(94). – С. 99-105.
5. Воронович С. Полностью электрический самолет / С. Воронович, В. Каргапольцев, В. Кутахов //Авиапанорама. – 2009. – № 2. – С. 23-27.
6. Complete Technology for 3D EM Simulation: <https://www.cst.com/>
7. Обзор продуктов компании Computer Simulation Technology:
<http://www.eurointech.ru/cst>
8. Универсальное программное обеспечение моделирования электромагнитных / Comprehensive electromagnetic simulation software: <http://www.feko.info/>
9. Система 3D электромагнитного моделирования FEKO:
http://rodnik.ru/product/sapr/sapr_svch/EM_Software_Systems/feko/
10. EMCoS. Electromagnetic Consulting and Software: <http://www.emcos.com/>
11. Обзор EMC Studio:
http://www.rodnik.ru/product/sapr/sapr_svch/Electromagnetic_Consulting_and_Software/obzor/
12. АС 1.1.160F-2008 – Авиационный справочник. Внешние воздействия и методы испытаний авиационного бортового оборудования.

Сведения об авторах:

Клыков Антон Владимирович, инженер ЗАО «ОКБ «Аэрокосмические системы».
ул. Программистов, 4, г. Дубна, Московская область, 141983;
тел.: (495) 926-74-29; e-mail: klykov@aerospace-systems.ru

Кириллов Владимир Юрьевич, профессор, заведующий кафедрой Московского авиационного института (национального исследовательского университета), д.т.н.,
МАИ, Волоколамское ш., 4, Москва, А-80, ГСП-3, 125993;
тел.: (499) 158-49-01; e-mail: kaf309@mai.ru