

09

Исследование спектра электромагнитных помех на антенне под носовым обтекателем самолетов на моделях с использованием искусственных заряженных аэрозольных облаков

© А.Г. Темников, М.Э. Гилязов, Д.А. Матвеев,
А.Ю. Воронкова, Л.Л. Черненский, А.В. Орлов

Московский энергетический институт (Технический университет)
E-mail: TemnikovAG@mpei.ru

Поступило в Редакцию 14 апреля 2011 г.

Представляются результаты экспериментального исследования на моделях спектров электромагнитных наводок на антенне радара самолета, возникающих при разрядах из искусственного облака заряженного водного аэрозоля. Установлено, что среди различных вариантов молниезащиты носового обтекателя при вертикальных полосовых молниеотводах на поверхности модели обтекателя максимальное значение спектральной плотности сигнала на антенне является наименьшим. Найдено, что максимальные характерные частоты для сигналов на модели антенны сферической формы в несколько раз меньше максимальных характерных частот сигналов на моделях молниеотводов. Для плоских моделей антенн в форме диска или прямоугольника установлена обратная взаимосвязь. Предположено, что существенную роль в характеристиках спектра электромагнитных помех на антенне радара играют токи разрядов, формирующиеся за счет зарядов, осевших на поверхности обтекателя.

Погодные радары являются неотъемлемой частью современных летательных аппаратов. Радар отвечает за навигацию летательного аппарата и тем самым определяет безопасность его полета. Носовые радиопрозрачные обтекатели самолетов предназначены для защиты антенных систем радиолокационных станций от воздействия окружающей среды в условиях полета. Разряды молнии в носовой обтекатель самолета являются одной из основных причин появления значительных электромагнитных наводок на антенне радара, способных привести к его повреждению и выходу из строя [1]. Для защиты носового обтекателя и

находящегося под ним радара от прямых ударов молнии используются молниеотводы, от косвенных электромагнитных воздействий молнии применяются частотно-избирательные защитные цепи, „фильтрующие“ характерные наведенные частоты. Таким образом, исследование спектра возможных электромагнитных наводок на антенне радара при воздействии разрядов из грозовых облаков является задачей, без решения которой невозможен выбор оптимальных параметров частотно-избирательных защитных цепей.

В то же время смоделировать численно весь спектр возможных воздействий грозовых облаков и молнии на установленный в носовом обтекателе радар сейчас не представляется возможным из-за большого числа влияющих факторов [2,3]. И полезным может оказаться оценка такого воздействия на основе экспериментального исследования на моделях спектров электромагнитных помех (токов) на антенне погодного радара, возникающих при разрядах из искусственного облака заряженного водного аэрозоля.

При исследовании спектров электромагнитных помех анализировались полученные при экспериментах серии осциллограмм токов, зарегистрированных на модели антенны при разрядах из облака заряженного аэрозоля в модель носового обтекателя самолета при различных конфигурациях модельной системы „обтекатель—молниеотводы—антенна“. Параметры создаваемого заряженного аэрозольного облака, измерительного комплекса для регистрации электрических и оптических характеристик разрядных процессов в промежутке „заряженное аэрозольное облако—модель носового обтекателя с электродом внутри“ и типичная картина формирования разряда из облака заряженного аэрозоля в модель обтекателя представлены в [4–6].

В качестве моделей полых радиопрозрачных носовых обтекателей использовались тонкостенные полые диэлектрические элементы полусферической формы из полиметилметакрилата и в форме параболоида вращения из полиэтилентерефталата с разным внутренним объемом. В качестве модели, находящейся внутри обтекателя антенны радара, использовались сферический электрод диаметром 24 mm и плоские электроды характерной круглой или прямоугольной формы площадью от 75 до 2000 см². В ходе проведенных экспериментальных исследований рассматривались различные варианты расположения и формы моделей молниеотводов на поверхности модели носового обтекателя: А — без присутствия моделей молниеотводов на внешней или внутрен-

ней поверхности модели обтекателя; В — с кольцевыми полосовыми электродами на внешней и внутренней поверхности обтекателя, моделирующими металлическую часть фюзеляжа, примыкающую к носовому диэлектрическому обтекателю самолета; С — с моделями вертикальных полосовых молниеотводов на внешней и/или внутренней поверхности модели обтекателя.

Для каждой конфигурации модели системы „обтекатель—антенна—молниеотводы“ была проведена серия опытов из не менее чем тридцати подходов и был получен набор осциллограмм, представляющих собой временную развертку токов, регистрируемых на антенне радара и молниеотводах на внешней и внутренней поверхности модели обтекателя при их наличии. Электрические характеристики разрядов, возникающих в результате взаимодействия модели обтекателя и антенны с заряженным облаком аэрозоля, в значительной мере определяют возможный уровень воздействия на электронное оборудование радара и соответственно на вероятность выхода его из строя. Типичные осциллограммы сигналов, регистрируемых на модели антенны и моделях молниеотводов на поверхности модели полого диэлектрического обтекателя, показаны для вариантов А, В и С расположения и формы моделей молниеотводов на поверхности модели носового обтекателя на рис. 1, а, 2, а и 3, а соответственно.

Для каждого сигнала, регистрируемого на модели антенны радара, внешнего и внутреннего молниеотводов, был проведен спектральный анализ — с помощью дискретного прямого преобразования Фурье [7] были определены характерные частоты сигналов и соответствующие им значения спектральных плотностей. Типичные спектрограммы, полученные при обработке осциллограмм, приведенных на рис. 1, а, 2, а и 3, а, показаны на рис. 1, б, 2, б и 3, б соответственно.

Для того чтобы установить влияние формы и расположения моделей молниеотводов на поверхности носового обтекателя, формы и размеров модели антенны на возможную интенсивность и спектр электромагнитных помех на радионавигационном оборудовании, для вариантов А, В и С организации молниезащиты носового обтекателя рассчитывались максимальное значение спектральной плотности сигналов и соответствующее ей значение частоты. Полученные результаты обобщены в табл. 1.

При вертикальных полосовых молниеотводах на поверхности модели носового радиопрозрачного обтекателя максимальное значение плот-

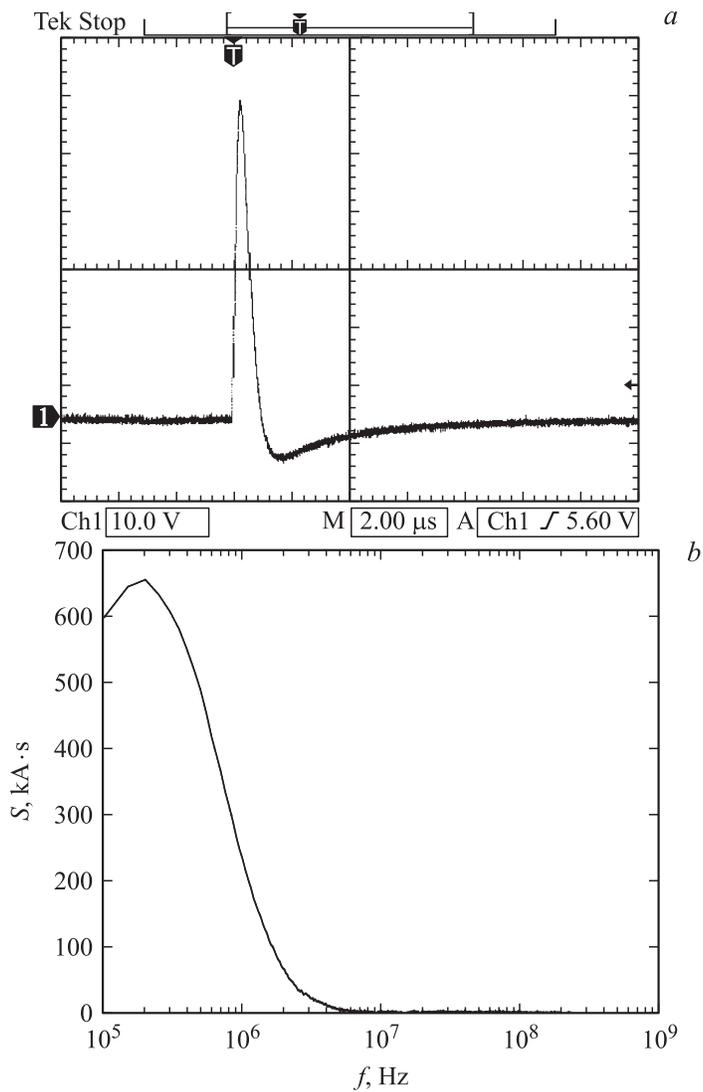


Рис. 1. Для варианта без присутствия моделей молниесводов на внешней или внутренней поверхности модели обтекателя: *a* — характерная осциллограмма тока, регистрируемая на модели антенных (шунт 0.53 Ω); *b* — соответствующая спектрограмма.

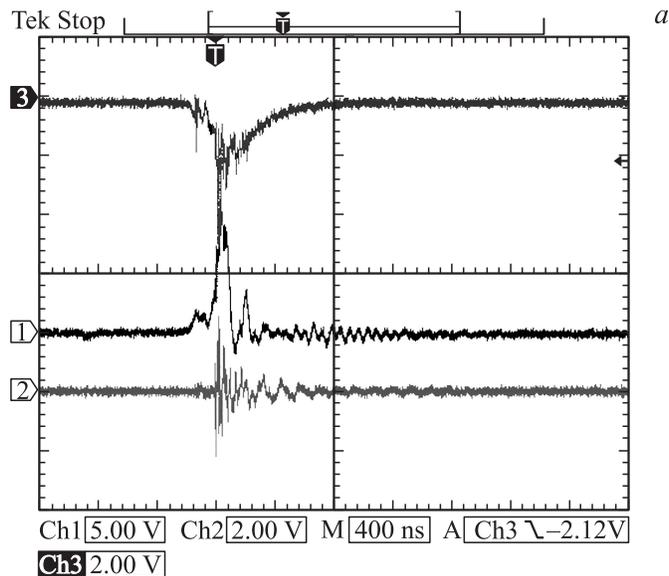


Рис. 2. Для варианта с кольцевыми полосовыми электродами на внешней и внутренней поверхности обтекателя: *a* — характерные осциллограммы токов, регистрируемые на модели антенны (кривая 1, шунт 0.53Ω), электрода на внутренней поверхности (кривая 2, шунт 0.13Ω) и электрода на внешней поверхности (кривая 3, шунт 0.14Ω); *b* — соответствующие спектрограммы (1 — для антенны, 2 — для электрода на внутренней поверхности, 3 — для электрода на внешней поверхности).

ности сигнала S_{\max} на модели антенны существенно ниже, чем при наличии кольцевых электродов на поверхности обтекателя (\sim в 5–25 раз) и тем более при отсутствии каких-либо проводящих элементов на поверхности оболочки обтекателя (\sim в 85–90 раз). В то же время соответствующие им характерные частоты $f_{S_{\max}}$, наоборот, выше. Такая же тенденция наблюдается и для сигналов, регистрируемых на моделях молниеотводов, расположенных на поверхности обтекателя.

Это может быть связано с тем, что в регистрируемых на модели антенны при разрядах из облака заряженного аэрозоля в модель обтекателя токах при наличии вертикальных полосовых молниеотво-

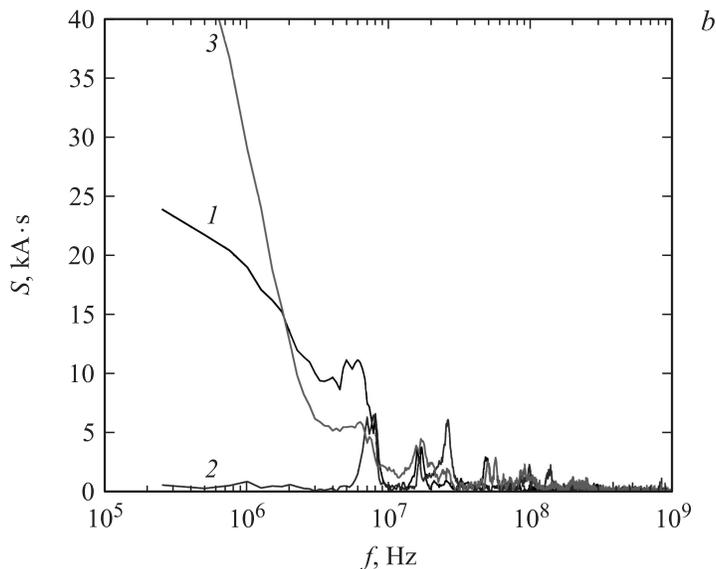


Рис. 2 (продолжение).

дов уменьшается доля тока проводимости. Как показали результаты исследований в [5,6] значение тока проводимости в значительной мере определяется количеством заряда, осевшего на поверхности обтекателя, и формированием поверхностных разрядов. Именно эти поверхностные разряды, „собирающие“ накопившийся на внутренней и внешней поверхности оболочки обтекателя заряд, часто дают определяющий вклад в формирование импульса разрядного тока как на модели антенны, так и на моделях молниеотводов, находящихся на поверхности обтекателя. А для случая вертикальных полосовых молниеотводов на поверхности модели обтекателя накапливаемый под воздействием облака заряженного аэрозоля на внутренней и внешней поверхности оболочки обтекателя заряд оказывается наименьшим из рассматриваемых трех вариантов организации молниезащиты носового обтекателя самолета [6].

Поэтому для случая вертикальных полосовых молниеотводов на поверхности модели обтекателя в сигнале, регистрируемом на модели антенны под обтекателем и моделях молниеотводов на его поверхности,

Таблица 1. Максимальные значения спектральной плотности сигналов с антенны радара и с моделей молниеотводов на внешней и внутренней поверхности обтекателя и соответствующие им значения частоты при различных видах моделей молниеотводов и формах антенны

Вид моделей молниеотводов	Форма антенны	Антенна		Молниеотвод на поверхности обтекателя			
				внешней		внутренней	
		$S_{\max},$ кА · с	$f_{S \max},$ МГц	$S_{\max},$ кА · с	$f_{S \max},$ МГц	$S_{\max},$ кА · с	$f_{S \max},$ МГц
Вертикальные полосовые электроды	Диск	11	0.4	2.4	0.5	2.3	8
	Прямоугольник	11.3	7.3	2.9	7	2.1	6.4
	Сфера	12	1.8	31	0.2	10	8
Кольцевые электроды	Диск	280	0.1	240	0.05	40	0.2
	Прямоугольник	320	0.07	120	0.5	28	0.2
	Сфера	50	2	110	1.2	60	1.2
Без поверхностных электродов	Сфера	1030	0.2	—			

Таблица 2. Диапазоны значений характерных частот спектров сигналов (МГц), регистрируемых на модели антенны и на моделях молниеотводов на внешней и внутренней поверхности обтекателя

Вид моделей молниеотводов	Форма антенны	Антенна		Молниеотвод на поверхности обтекателя			
				внешней		внутренней	
		f_{\min}	f_{\max}	f_{\min}	f_{\max}	f_{\min}	f_{\max}
Вертикальные полосовые электроды	Диск	0.4	80	0.5	27	6	25
	Прямоугольник	1.3	78	1.5	28	6	27
	Сфера	0.5	40	0.2	150	5.8	140
Кольцевые электроды	Диск	0.04	25	0.02	7.2	0.02	8
	Прямоугольник	0.07	28	0.02	8.6	0.02	8
	Сфера	0.4	18	1.2	95	1.2	60

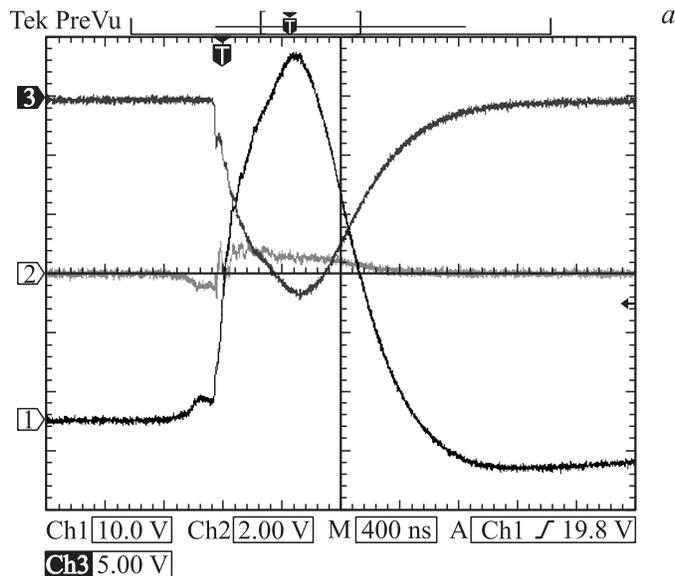


Рис. 3. Для варианта с моделями вертикальных полосовых молниеотводов на внешней и/или внутренней поверхности модели обтекателя: *a* — характерные осциллограммы токов, регистрируемые на модели антенны (кривая 1, шунт 0.53Ω), молниеотвода на внутренней поверхности (кривая 2, шунт 0.13Ω) и молниеотвода на внешней поверхности (кривая 3, шунт 0.14Ω); *b* — соответствующие спектрограммы (1 — для антенны, 2 — для молниеотвода на внутренней поверхности, 3 — для молниеотвода на внешней поверхности).

преобладающую роль играют токи смещения, наводимые на ней при быстром изменении заряда облака заряженного аэрозоля и формировании главной стадии разряда между облаком и молниеотводами. В результате максимальные характерные частоты в спектре сигнала для случая вертикальных полосовых молниеотводов на поверхности модели обтекателя в 2–4 раза больше, чем при наличии кольцевых электродов на поверхности оболочки обтекателя, когда существенную роль играют токи проводимости разрядов, формирующиеся за счет зарядов, осевших на поверхности обтекателя (табл. 2). По этой же причине максимальные характерные частоты для сигналов, регистрируемых на модели антенны

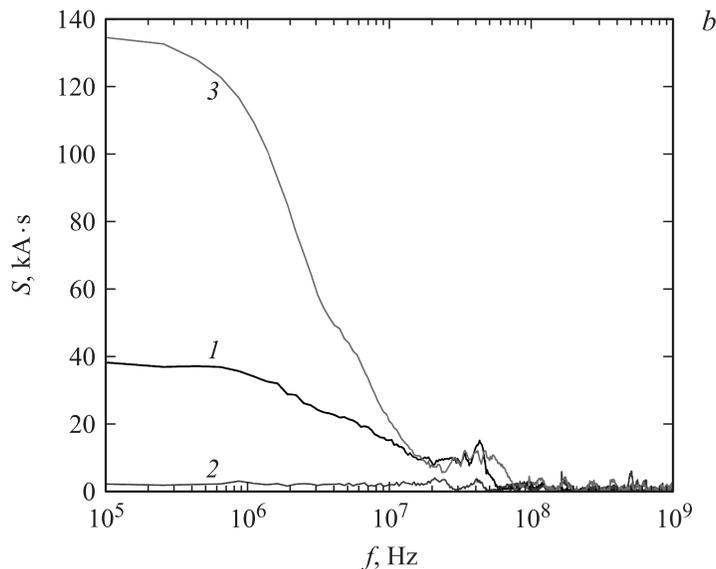


Рис. 3 (продолжение).

сферической формы (до 40 MHz), в 3–5 раз меньше максимальных характерных частот сигналов, регистрируемых на моделях молниеотводов (до 150 MHz). Для плоских моделей антенн в форме диска или прямоугольника наблюдается обратная тенденция: максимальные характерные частоты для сигналов, регистрируемых на модели антенны (до 80 MHz), в несколько раз больше максимальных характерных частот сигналов, регистрируемых на моделях молниеотводов (до 28 MHz).

Полученные результаты исследования спектров электромагнитных наводок на модели антенны погодного радара при воздействии искусственного облака заряженного водного аэрозоля могут быть использованы при выборе как оптимальной конфигурации системы „обтекатель–молниезащитные электроды–антенна“, так и параметров частотно-избирательных защитных цепей.

Работа выполнена в рамках реализации ФЦП „Научные и научно-педагогические кадры инновационной России“ на 2009–2013 годы (государственный контракт № П11117).

Список литературы

- [1] Баллок Н.В., Кечиев Л.Н., Степанов П.В. Мощный электромагнитный импульс: воздействие на электронные средства и методы защиты. М.: ООО „Группа ИДТ“, 2009.
- [2] Utan M.A., Rakov V.A. // Progress in Aerospace Sciences. 2003. V. 39. P. 61–81.
- [3] Hall A. // Thunderstorm Protection of Aircraft Radomes. Proc. of the International Conference on Lightning and Static Electricity. Seattle, USA, 2005. P. 118.
- [4] Темников А.Г., Орлов А.В., Болотов В.Н., Ткач Ю.В. // ЖТФ. 2005. Т. 75. В. 7. С. 52–59.
- [5] Темников А.Г., Черненский Л.Л., Орлов А.В., Полякова О.В. // Письма в ЖТФ. 2010. Т. 36. В. 18. С. 40–47.
- [6] Темников А.Г., Черненский Л.Л., Орлов А.В., Полякова О.В. // Труды Второй Российской конференции по молниезащите. М., 2010. С. 4.5.
- [7] Лэй Э. Цифровая обработка сигналов для инженеров и технических специалистов. М.: Группа ИДТ, 2007.