

03;12

Экспериментальное изучение воздействия искусственных заряженных аэрозольных облаков на модели носовых обтекателей самолетов

© А.Г. Темников, Л.Л. Черненский, А.В. Орлов, О.В. Полякова

Московский энергетический институт (Технический университет)

E-mail: TemnikovAG@mpei.ru

Поступило в Редакцию 24 марта 2010 г.

Представляются результаты экспериментальных исследований воздействия искусственных облаков заряженного водного аэрозоля на модели носового обтекателя самолета. Установлено, что феноменология развития искрового разряда в промежутке „облако заряженного аэрозоля—модель носового обтекателя с электродом внутри него“ существенно отличается от случая формирования разряда без обтекателя. Найдено, что присутствие модели диэлектрического обтекателя в промежутке между заряженным облаком и землей может вести к явлению „реверса полярности“ тока разряда с электрода, моделирующего антенну. Установлено влияние размера внутреннего пространства модели обтекателя на развитие разряда и его количественные характеристики. Предложены возможные физические механизмы взаимодействия разрядов молнии и грозовых облаков с радиопрозрачными носовыми обтекателями самолетов и оборудованием внутри них.

Назначение носовых радиопрозрачных обтекателей самолетов — защита антенных устройств радиолокационных станций от воздействия окружающей среды в условиях полета. Помимо этого носовой обтекатель является важным аэродинамическим элементом самолета. Удар молнии в носовой обтекатель самолета может привести к пробою оболочки обтекателя и/или вывести из строя радионавигационное оборудование под ним [1,2]. Это может привести к аварийным или катастрофическим ситуациям. Пока не удастся полностью исключить авиационные происшествия, связанные с воздействием грозовых облаков и разрядов молнии на носовые обтекатели самолетов, их защита до сих пор считается одним из наименее надежных элементов мол-

ниезащиты самолета. Такое положение связано с многообразием форм и физических механизмов воздействия грозовых облаков и разрядов молнии на носовые обтекатели самолетов и установленное внутри них оборудование, некоторые из которых фактически мало изучены и не полностью понятны. Использование искусственных облаков сильно заряженного водного аэрозоля дает возможность исследовать процессы воздействия и взаимодействия носовых обтекателей самолетов с грозовыми облаками и разрядами молнии, выявить ключевые физические механизмы такого взаимодействия, предложить пути совершенствования молниезащиты носовых обтекателей.

Экспериментальный комплекс состоит из аэрозольной камеры, генератора заряженного аэрозоля конденсационного типа, исследуемой модели носового обтекателя и измерительного комплекса. Создаваемое заряженное аэрозольное облако имеет потенциал до 2 MV. В результате между заряженным аэрозольным облаком и заземленной плоскостью создается сильное электрическое поле напряженностью до 12 kV/cm вблизи заземленной плоскости и до 22 kV/cm на границе облака заряженного аэрозоля [3]. Измерительный комплекс включал малоиндуктивные шунты, цифровой запоминающий осциллограф Tektronix TDS 3054, систему фотоэлектронных умножителей, программируемую электронно-оптическую камеру K011, цифровой фотоаппарат Panasonic DMC-50 и одновременно регистрировал электрические и оптические характеристики разрядных процессов в промежутке „заряженное аэрозольное облако—модель носового обтекателя с электродом внутри“. Тонкостенные полые диэлектрические элементы различной формы с внутренним объемом до 101 использовались в качестве моделей радиопрозрачных носовых обтекателей. Толщина оболочки моделей обтекателя находилась в диапазоне от 1.5 до 11.0 mm.

Проведенные экспериментальные исследования и физическое моделирование процессов воздействия молнии на носовые обтекатели с использованием искусственных облаков заряженного водного аэрозоля показали существенное различие в картине формирования разряда в промежутке „облако отрицательно заряженного аэрозоля—земля“ в присутствии модели полого диэлектрического обтекателя и без нее. Наличие в промежутке модели обтекателя с находящимся внутри него стержневым электродом кардинальным образом меняет феноменологию и механизмы развития разряда. В ходе экспериментов были установлены несколько возможных вариантов развития разрядных процессов внутри

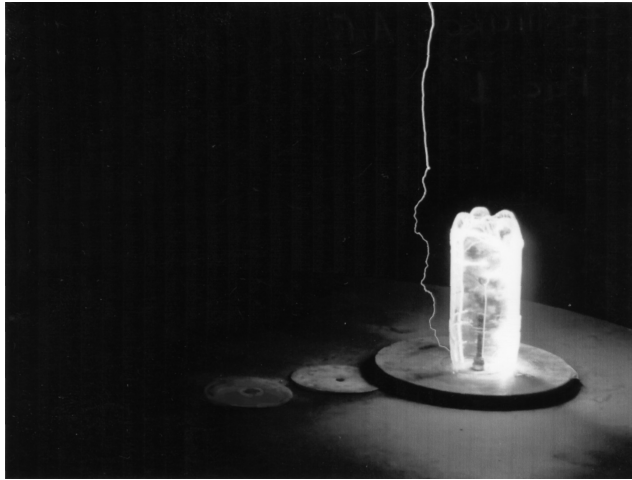


Рис. 1. Фотография развития разряда внутри модели обтекателя и между облаком заряженного аэрозоля и моделью полого радиопрозрачного обтекателя объемом 1.41.

модели носового обтекателя, по его поверхности и в области пространства вблизи него. Разрядные процессы наблюдались как с электрода внутри модели обтекателя, так и в пространстве между поверхностью диэлектрического обтекателя и облаком заряженного водного аэрозоля. Характер и интенсивность этих разрядных явлений существенным образом зависели от напряженности внешнего электрического поля, создаваемого искусственным облаком заряженного аэрозоля.

При росте напряженности электрического поля, создаваемого заряженным аэрозольным облаком, более 3 kV/cm , с модели антенны внутри обтекателя возникала стримерная корона, стримеры которой заканчивались на его внутренней поверхности. При дальнейшем увеличении напряженности поля более 4 kV/cm , развитие разряда с модели антенны внутри обтекателя сопровождалось яркими поверхностными канальными разрядами по внутренней и иногда внешней поверхностям модели обтекателя (рис. 1). При этом с внешней поверхности модели диэлектрического обтекателя в сторону облака могла развиваться корона в стримерной или диффузной форме. С ростом напряженности

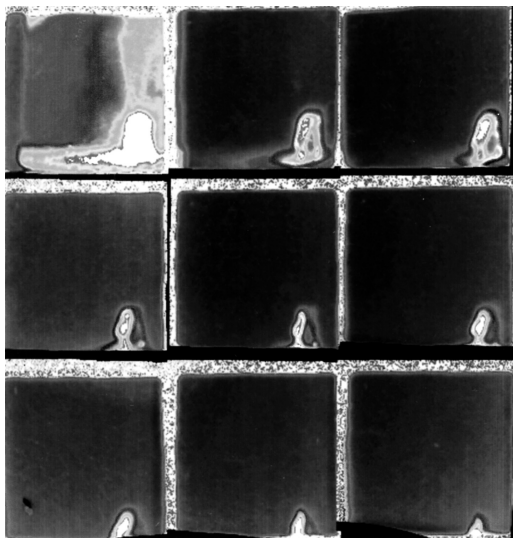


Рис. 2. Динамика формирования разряда между облаком заряженного аэрозоля и моделью обтекателя объемом 1.41 (размер кадра 70×70 см, длительность кадра $2.5 \mu\text{s}$, пауза между кадрами $0.2 \mu\text{s}$).

электрического поля более 5 kV/cm каналы ярких разрядов заполняли значительную область внутри модели обтекателя, а стримерная корона с внешней поверхности увеличивалась в размерах и по яркости и в ряде случаев частично проникала во внутренние области заряженного аэрозольного облака. Причем свечение внутри модели обтекателя поддерживалось более десяти микросекунд после завершения главной стадии разряда в промежутке „облако заряженного аэрозоля—модель обтекателя“ (рис. 2).

Были найдены различные характерные формы импульсов разрядного тока с модели антенны внутри модели носового обтекателя, которые проявляли однопиковую, двухпиковую и даже многопиковую структуру (рис. 3, а). Эти импульсы могли иметь различную полярность, длительность и амплитуду. Было найдено, что присутствие модели полого диэлектрического обтекателя в промежутке между заряженным аэрозольным облаком и землей приводит к интересному явлению „реверса

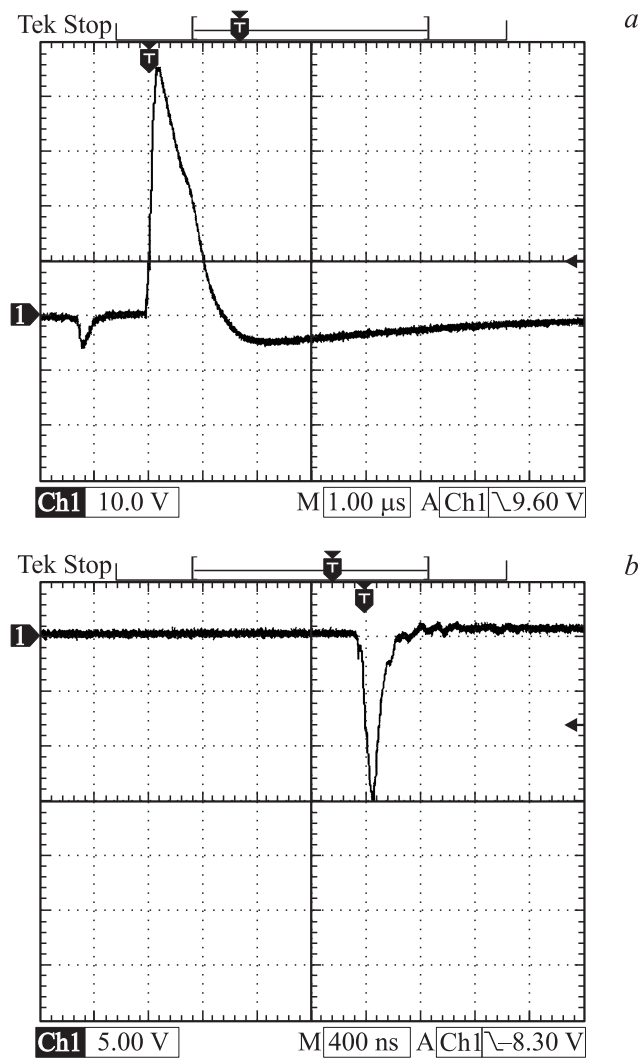


Рис. 3. Осциллограмма тока главной стадии разряда между облаком заряженного аэрозоля и землей (шунт 1.0Ω): *a* — при наличии модели обтекателя; *b* — при отсутствии модели обтекателя.

полярности“ тока разряда со стержневого электрода, моделирующего антенну радара. В отличие от случая без обтекателя (рис. 3, *b*), в присутствии модели обтекателя первоначальный импульс разрядного тока менял полярность. Более того, амплитуда „реверсного тока“ была в несколько раз больше, чем для разрядов из облака заряженного аэрозоля в отсутствии модели обтекателя. Сначала мощный отрицательный (реверсный) разряд длительностью 300–800 ns с модели антенны под обтекателем амплитудой от 20 до 80 А; затем стадия положительного разряда амплитудой от 8 до 30 А, характерного для случаев без обтекателя в разрядном промежутке. Длительность этой стадии превышает 3 μ s. Такое явление свидетельствует о том, что направление вектора суммарной напряженности поля под обтекателем меняется на противоположное внешнему электрическому полю, которое обеспечивается облаком заряженного водного аэрозоля. Физическим механизмом такого феномена является существование внутри обтекателя на антенне лавинного коронного разряда в течение промежутка времени, пока заряд облака заряженного аэрозоля, а значит, и внешнее поле увеличивается. В результате, противоположный по знаку заряду облака заряд оседает и накапливается на внутренней поверхности диэлектрического обтекателя. И при резком уменьшении внешнего поля (например, при нейтрализации части заряда облака различными разрядными процессами) этот осевший на внутренней поверхности обтекателя заряд может вызвать реверсный разряд с электрода внутри обтекателя.

Эксперименты показали, что при применении полых диэлектрических обтекателей возможно как усиление поля внутри обтекателя за счет оседания на внешнюю поверхность ионов и частиц заряженного аэрозоля, так и ослабление поля за счет оседания на внутреннюю поверхность ионов при коронировании электродов внутри них. В случае одновременного осаждения заряженных частиц на внутреннюю и внешнюю поверхность диэлектрического обтекателя процесс разряда приобретает сложный характер, зависящий от скорости осаждения различных заряженных частиц, из утечки по обеим поверхностям и характера изменения внешнего электрического поля. В ряде случаев суммарная напряженность электрического поля, создаваемого облаком заряженного аэрозоля и осевшими на внутреннюю поверхность ионов и на внешнюю поверхность частиц заряженного аэрозоля, достигала значений, при которых происходил пробой диэлектрической оболочки

Амплитуда тока главной стадии разряда в промежутке „облако заряженного аэрозоля—модель антенны под полым радиопрозрачным обтекателем“

Объем внутреннего пространства под моделью обтекателя, l	без обтекателя	0.8	1.4	4.0	10.0
Амплитуда тока реверсной части главной стадии разряда, А	—	58	65	72	68
Амплитуда тока „обычной“ части главной стадии разряда, А	18	26	22	14	11

модели обтекателя. При этом амплитуда тока главной стадии разряда в ее первоначальной реверсной части всегда превышала 45 А.

В ходе эксперимента было установлено влияние размера внутреннего пространства модели носового обтекателя на феноменологию развития разряда и его количественные характеристики. Такое влияние может быть объяснено с точки зрения осаждения заряда на внутреннюю и внешнюю поверхности модели носового обтекателя. В таблице приведены полученные усреднением не менее чем 50 опытов для каждого внутреннего объема модели обтекателя амплитуды тока реверсной и „обычной“ части главной стадии разряда в промежутке „облако заряженного аэрозоля—модель антенны под полым радиопрозрачным обтекателем“. Необходимо отметить, что с увеличением объема внутреннего пространства под моделью обтекателя изменение амплитуды тока реверсной части имеет сложный характер (сначала нелинейно растет с ростом объема, а затем стабилизируется на уровне от 65 до 75 А), а амплитуда тока „обычной“ части главной стадии разряда снижается. Скорее всего, это связано с увеличением расстояния от осевшего на поверхности модели обтекателя заряда до мест расположения модели антенны и соответственно изменением величины создаваемой им напряженности электрического поля.

Таким образом, среди возможных физических механизмов взаимодействия разрядов молнии и грозовых облаков с радиопрозрачными носовыми обтекателями самолетов и оборудованием внутри них, выявленных в ходе экспериментальных исследований с использованием искусственных облаков заряженного водного аэрозоля, необходимо выделить следующие, которым пока уделяется мало внимания [2,4].

Накопление заряда на внутренней поверхности обтекателя в результате коронного разряда на электродах внутри него при ударах молнии, когда происходит быстрое уменьшение напряженности внешнего поля, может привести к возникновению на антенне под обтекателем разряда того же знака (реверсного разряда), что и полярность грозовой ячейки и лидера молнии. Причем амплитуда тока такого разряда может оказаться намного больше, чем амплитуда тока разряда при отсутствии влияния обтекателя.

Вследствие одновременного осаждения заряженных частиц под действием электрического поля грозового облака и лидера молнии на внутреннюю и внешнюю поверхности полого носового обтекателя самолета на них могут накопиться большие заряды. Величина этих поверхностных зарядов будет ограничиваться только электрической прочностью оболочки носового обтекателя самолета. В результате возможен электрический пробой оболочки обтекателя даже в случаях, когда молния не поразила нос самого самолета.

Развитие поверхностных разрядов по внутренней поверхности обтекателя, обеспечивающее стекание в нейтрализацию накопленных зарядов, может привести как к появлению существенного тока смещения в элементах антенны, так и к резкому росту напряженности электрического поля в месте расположения антенны под обтекателем.

Работа выполнена в рамках реализации ФЦП „Научные и научно-педагогические кадры инновационной России“ на 2009–2013 гг. (государственный контракт № П 1117).

Список литературы

- [1] *Uman M.A., Rakov V.A.* // *Progress in Aerospace Sciences*, 2003. V. 39. P. 61–81.
- [2] *Larsson A.* // *C. R. Physique*. 2002. V. 3. P. 1423–1444.
- [3] *Темников А.Г., Орлов А.В., Болотов В.Н., Ткач Ю.В.* // *ЖТФ*. 2005. Т. 75. В. 7. С. 52–59.
- [4] *Hall A.* // *Thunderstorm Protection of Aircraft Radomes. Proc. of the International Conference on Lightning and Electricity. Seattle, USA, 2005. P. 118.*