

УДК 533.6.01;537.24

ВОЗНИКНОВЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИ ЗАРЯЖЕННЫХ СТРУКТУР В ГАЗОДИНАМИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВАХ: ЛАБОРАТОРНЫЕ И НАТУРНЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ

© 2011 г.

Д.А. Голенцов, В.А. Лихтер

Центральный институт авиационного моторостроения им. П.И. Баранова, Москва

golentsov@ciam.ru

Поступила в редакцию 16.05.2011

Представлены результаты лабораторных и натуральных исследований особенностей и последствий возникновения электрически заряженных структур в газодинамических устройствах. Ранее было показано, что такие структуры могут возникать вследствие развития в тракте газодинамического устройства электрических диффузионных пограничных слоев [1–3], попадания на вход устройства из окружающего пространства посторонних заряженных и незаряженных (но заряжающихся в тракте устройства) частиц и разрушения внутренних металлических элементов устройств [4]. Для более глубокого понимания этих эффектов проведен комплекс экспериментальных работ (включая натурные испытания). Измерения проведены с помощью специально созданных зондов-антенн [3]. На основе этих исследований разработана система ранней электростатической диагностики состояния изучаемых двигательных и энергетических устройств.

Ключевые слова: электрически заряженные структуры, электрические диффузионные пограничные слои, заряженные и незаряженные посторонние частицы, зонды-антенны, электростатическая диагностика.

Рассмотрен ряд особенностей возникновения электрически заряженных структур в газодинамических устройствах.

Одна из причин возникновения таких структур связана с тем, что в высокотемпературных каналах газодинамических устройств всегда имеются заряженные компоненты с различной электрической подвижностью. Так, подвижность (и коэффициент диффузии) электронов на несколько порядков больше, чем положительных ионов, и поэтому поток электронов из ядра электрически квазинейтрального потока газа к внутренней поверхности канала превосходит поток положительных ионов. Вблизи стенок возникает нескомпенсированный положительный заряд, который движется с газом вниз по потоку и выносится из устройства газодинамической струей. Электроны же с внутренней поверхности канала «переходят» на внешнюю поверхность устройства и либо удаляются с нее специальными разрядниками (как на самолете), либо приводят к отрицательной зарядке объекта [1–3].

Другая причина состоит в том, что микрочастицы, находящиеся во внешней по отношению к объекту атмосфере (например частицы, поднимающиеся с поверхности аэродрома при работе авиационных двигателей и попадающие на его вход), в большинстве случаев оказыва-

ются электрически заряженными.

И, наконец, третья, самая важная, причина возникновения заряженных структур связана с открытым нами явлением, что микрочастицы, образующиеся при разрушении металлических тел, в большинстве случаев оказываются положительно заряженными [4].

Были проведены экспериментальные исследования возникновения заряженных структур в газодинамических устройствах и их моделях с помощью разработанных систем зондов-антенн различной геометрии, предназначенных для регистрации пролетающих мимо них заряженных образований. Математическая обработка получаемой информации дала возможность выяснить ряд особенностей течения в рассматриваемых устройствах.

Обнаружено, что во временных реализациях регистрируемых антеннами сигналов имеются участки с двумя («положительным» и «отрицательным») экстремумами, соответствующие пролету мимо антенны заряженных компактных сгустков или частицы. (При этом, если первый экстремум – положителен, то пролетающая частица заряжена положительно (и наоборот).) Найдены приближенные соотношения для экстремума $\Delta\Phi$ сигнала на указанном участке и для временного интервала Δt между его экстремумами

$$\Delta\Phi = \frac{QRv}{I} \alpha(\Gamma), \quad \Delta t = \frac{l}{v} \beta(\Gamma).$$

Здесь Q и v – заряд заряженной частицы (сгустка) и ее характерная скорость, l – характерный размер зонда-антенны, R – сопротивление в цепи зонда ($Rv \ll 1$); $\alpha(\Gamma)$ и $\beta(\Gamma)$ – безразмерные функции, определяемые геометрией задачи. (Использована система СГСЭ.)

Ситуация попадания на вход устройства посторонних заряженных частиц была воспроизведена в лабораторных экспериментах, где перед входом в цилиндрический канал, в который всасывался воздух из окружающего пространства, размещалась (несколько ниже канала) плоскость, на которой находился слой частиц (песка или металла). Антенна, установленная во входном сечении канала, уверенно зафиксировала электростатический сигнал от частиц, поднятых с плоскости воздушным потоком и попавших в канал. Как и следовало ожидать, заряд частиц песка оказался отрицательным, а металла – положительным.

Эксперименты по регистрации заряженных образований, возникающих при разрушении внутренних металлических элементов реального газодинамического устройства с протоком воздуха (модели турбины), были проведены в стендовых условиях. Антенна устанавливалась на выходе из устройства. На основе ее показаний был точно зафиксирован момент начала нарушения нормального режима работы устройства, что потребовало его остановки. На рис. 1 показано изменение по времени дисперсии регистрируемого сигнала. Здесь 1 – нормальный режим работы, 2 – начало аномального режима, 3 – развитый аномальный режим, 4 – остановка работы.

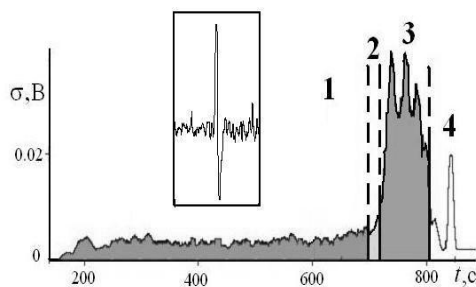


Рис. 1

Анализ исходной временной развертки сигнала показал, что он генерируется положительно заряженными частицами (см. «врезку» на рис. 1). Согласно результатам осмотра, при

работе происходило соприкосновение вращающихся элементов устройства с его корпусом, что приводило к попаданию в поток большого количества заряженных металлических частиц.

Был также зафиксирован другой механизм нарушения нормального режима работы устройства, связанный с частичным обмерзанием его внутренних элементов и элементов измерительных устройств при «нештатном» понижении температуры в проточном тракте. При этом происходило попадание частиц льда в поток и их регистрация антеннами. На рис. 2 показана «вырезка» из временной реализации сигнала (черная кривая), согласно которой регистрируемые образования заряжены отрицательно.

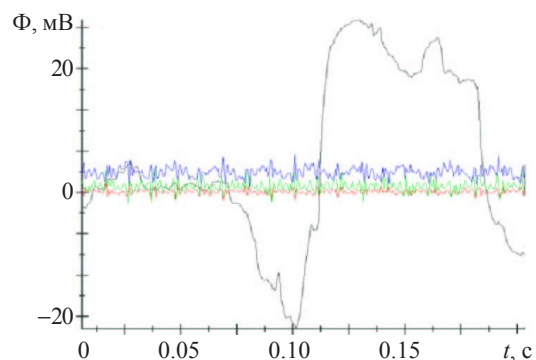


Рис. 2

Исследования проводились авторским коллективом: А.Б. Ватажин, Д.А. Голенцов, В.А. Лихтер, А.Г. Гулин.

Работа проведена при финансовой помощи РФФИ (№ 08-01-00142) и гранта Президента РФ поддержки ведущих научных школ (НШ-319.2008.1).

Список литература

1. Ватажин А.Б., Грабовский В.И., Лихтер В.А., Шульгин В.И. Электрогазодинамические течения. М.: Наука, 1983. 344 с.
2. Ватажин А.Б., Улыбышев К.Е. Модель формирования электрического тока выноса в каналах авиационных реактивных двигателей // Изв. РАН. МЖГ. 2000. №5. С. 139–148.
3. Божков А.И., Ватажин А.Б., Голенцов Д.А., Лихтер В.А. Электрические поля, создаваемые реактивными струями авиационных двигателей. Проблемы электризации и электростатической диагностики двигателя // Аэромеханика и газовая динамика. 2003. № 2. С. 49–59.
4. Ватажин А.Б., Голенцов Д.А., Лихтер В.А., Шульгин В.И. Электрические аспекты проблемы разрушения тел в газодинамическом потоке // Изв. РАН. МЖГ. 1999. № 4. С. 74–80.

**OCCURRENCE OF CHARGED STRUCTURES IN GAS-DYNAMIC DEVICES:
LABORATORY AND NATURAL EXPERIMENTS**

D.A. Golentsov, V.A. Likhter

The results of laboratory and natural studies of peculiarities and consequences of the occurrence of electric charged structures in gas-dynamic devices are presented. Earlier it was shown, that such structures can arise due to the development in a path of gas-dynamic device of electric diffusion boundary layers, hit on device input from surrounding space extraneous charged and not charged (but charged in a device path) particles and destruction of internal metal elements of the device. To get a deeper insight into these effects, a complex of experimental investigations (including natural tests) was carried out. Measurements were conducted using specially developed probes-antennas. On the basis of these studies, the system of early electrostatic diagnostics of the state of the studied engine and power devices was developed.

Keywords: electrical charged structures, electric diffusion boundary layers, charged and not charged extraneous particles, probes-antennas, electrostatic diagnostics.