

УДК 537.58: 533.9  
ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ПОТЕНЦИАЛЬНОГО РЕЛЬЕФА ЭЛЕМЕНТОВ  
КОНСТРУКЦИИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Р.И. ВОРОБЕЙ, О.К. ГУСЕВ, А.Л. ЖАРИН, Н.И. МУХУРОВ,  
А.И. СВИСТУН, А.К. ТЯВЛОВСКИЙ, К.Л. ТЯВЛОВСКИЙ  
УО «БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ»  
Минск, Беларусь

Одной из проблем при разработке и эксплуатации летательных аппаратов, в особенности космических, является обеспечение эквипотенциальности поверхности. Во время полета возможно значительное электрическое заряджение внешней поверхности конструкций летательных аппаратов – до нескольких десятков тысяч вольт. При этом, разность потенциалов между отдельными частями поверхности может достигать величин, приводящих к возникновению микрозарядов, которые вызывают появление помех в широком частотном диапазоне, искажение показаний аппаратуры, предназначенной для измерения характеристик окружающей среды. Наличие потенциала на поверхности летательного аппарата может приводить также к нарушению работы или выходу из строя бортовой аппаратуры. Отсутствие дифференциального заряджения обеспечивает эквипотенциальность внешней поверхности.

Задача обеспечения эквипотенциальности во многих случаях затрудняется тем, что защита конструкций от внешних воздействий осуществляется диэлектрическими материалами. В качестве защитных покрытий могут использоваться керамика, оксиды, многослойные покрытия на основе стеклоткани и др. "Проводящая" экранно-вакуумная термоизоляция (ПЭВТИ) представляет собой стеклоткань с подслоем из металлической фольги, прошитую металлическими нитями. Прошивка с шагом переплетения 1 мм образует сетку с размером ячейки 10 x 10 мм. Так как фольга и металлическая нить контактируют с корпусом летательного аппарата, считается, что такое покрытие обеспечивает эквипотенциальность поверхности. Однако проводимость стеклоткани существенно меньше, и потенциал заряженности стеклоткани может существенно отличаться от потенциала металлической нити. Математическое моделирование [1] показало, что наличие проволочной нити приводит к спаду потенциала покрытия всего на величину около 2 %. Таким образом, для тестирования элементов конструкции летательных аппаратов с изолирующими покрытиями недостаточно контролировать значения электрических параметров поверхности в нескольких контрольных точках. Требуется использовать методы визуализации потенциального рельефа, и контролировать параметры пространственного распределения электрического потенциала поверхности [2].

В настоящее время известен ряд методов измерения электрического потенциала поверхности: метод вибрирующего (динамического) конденсатора (Зисмана), метод статического конденсатора (Делчара), метод невибрирующего электрода (Жарина), двухконденсаторный метод, ионизационный метод (Kenrick). Все методы являются неразрушающими и бесконтактными – эталонный электрод перемещается над поверхностью на расстоянии от десятков до сотен мкм. Электрическое поле между поверхностью объекта контроля и эталонным электродом отсутствует ввиду использования компенсационного метода измерения. Глубина анализа определяется величиной экранирования электрического поля в приповерхностной области объекта контроля. Методы характеризуются различными совокупностями метрологических параметров и функциональных возможностей, что позволяет оптимизировать выбор конкретного метода в зависимости от характеристик объекта контроля. Например, возможна визуализация электрического потенциала с пространственным разрешением единицы - десятки мкм, или визуализация с высокой точностью измерения электрического потенциала, но худшим пространственным разрешением, или визуализация с меньшей статической чувствительностью, но малым временем измерения и т.д. Формирование картины пространственного распределения электрического потенциала поверхности осуществляется при пространственном сканировании отсчетного электрода относительно объекта контроля. В зависимости от размеров и конструкции объекта контроля может использоваться пространственное сканирование в декартовых или полярных координатах.

Информативность методов контроля потенциального рельефа может быть существенно повышена путем предварительного воздействия на приповерхностную область объекта контроля коронного разряда. Генератор коронного разряда выступает в роли источника ионов, который переносит точно дозированное количество заряда на поверхность диэлектрической пленки, формируя таким образом "виртуальный электрод" МОП- конденсатора. Покрытие является диэлектриком этого конденсатора, а подложка – его вторым электродом. При использовании коронного разряда ионы попадают на поверхность с практически нулевой кинетической энергией, не проникают внутрь диэлектрического покрытия, и, таким образом не изменяют ее характеристик. Импульсный источник света, совмещенный с зондом Кельвина, используется для создания поверхностного фотоэффекта, обеспечивая измерение изгиба энергетических зон и непосредственное измерение напряжения плоских зон. Применительно к контролю изолирующих покрытий элементов конструкции летательных аппаратов использование генератора коронного разряда позволяет частично смоделировать условия заряжаемости покрытия летательных аппаратов в реальных условиях эксплуатации.

Для контроля элементов конструкции летательных аппаратов с ПЭВТИ использовалась измерительная установка с вибрирующим отсчетным электродом и пространственным сканированием в декартовых координатах. Управление процессом измерения и обработка результатов измерения производится с использованием ЭВМ. Хранение промежуточных результатов измерения, связь с компьютером через порт RS-232, управление вспомогательными устройствами производится одноплатным контроллером TFX-11. Для реализации ионного метода измерения в качестве входного применен операционный усилитель AD 549L с входным током менее 60 fA. Так как ионный метод измерения электрического потенциала является неконденсаторным, то его метрологические характеристики не зависят от межэлектродного зазора и геометрических размеров отсчетного электрода. При этом, пространственная разрешающая способность метода ограничивается только характеристиками системы пространственного сканирования. Измерения показали соответствие картины пространственного распределения потенциала на поверхности ПЭВТИ результатам математического моделирования [1]. При отсутствии внешних воздействий – генератора коронного разряда, поверхность ПЭВТИ эквипотенциальна с флуктуационными отклонениями не более 50 мВ.

Разработана методика калибровки устройств контроля параметров пространственного микронеоднородного распределения электрического потенциала поверхности. Для реализации методики калибровки [3] предложено использовать матричный эталонный электрод, коммутируемый матрицей электронных ключей на набор источников опорного напряжения (ИОН). При этом, конфигурация замкнутых ключей моделирует параметры микронеоднородности, а значения напряжений ИОН – среднее значение потенциала микроучастков поверхности объекта контроля и их разброс.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Афонин, В. В.** О потенциале и эквипотенциальности космических аппаратов / В. В. Афонин // Космические исследования. – 2004. – том 42, № 1. – С. 35–41.
2. **Жарин, А. Л.** Метод контактной разности потенциалов и его применение в трибологии / А. Л. Жарин. – Минск : Бестпринт, 1996. – 240 с.
3. Метрологическое обеспечение бесконтактных измерений параметров микронеоднородного распределения электрического потенциала поверхности / К. Л. Тьяловский [и др.] // Приборы и системы. – 2009. – № 4. – С. 34-37.

E-mail: nilpt@tut.by