

Перспективные технологии неразрушающего контроля для предприятий ОПК

Бориков В. Н., Зыков В.М., Вавилов В.П., Чахлов С.В., Седнев Д.А., Рычков М.М.
Институт неразрушающего контроля Томского политехнического университета
borikov@tpu.ru

1. Испытания элементов и подсистем космического аппарата на радиационную электризацию

Для проведения наземных испытаний элементов и подсистем космического аппарата (КА) на устойчивость к факторам радиационной электризации под действием электронной компоненты геомагнитной плазмы разработан испытательный стенд «Прогноз-2», который обеспечивает:

- проведение исследования параметров радиационной электризации образцов в условиях воздействия факторов космического пространства (вакуум, электронное излучение с имитацией условий на геостационарной орбите, низкая температура, солнечное излучение);
- измерение помеховых сигналов в цепях управления испытуемых подсистем КА (таких как система коррекции КА), вызванных электростатическими разрядами;
- отработку методов и средств защиты от воздействия факторов радиационной электризации.

Стенд «Прогноз-2» оснащен:

- вакуумной камерой диаметром 1 м и длиной 1 м для испытания образцов с максимальным диаметром до 0,9 м или габаритными размерами 0,6 x 0,9 м;
- безмасляной системой откачки на основе турбомолекулярного и двух криогенных насосов со скоростью откачки до 16000 л/с, что позволяет проводить испытания образцов с повышенным газовыделением;
- системой термостатирования, обеспечивающей регулировку температуры образцов от минус 80 °С до плюс 80 °С, в том числе по заданной программе, с возможностью достижения температуры минус 140 °С за счет криоэкрана с жидким азотом;
- двумя электронными пушками, снабженными системой моделирования спектра электронов геомагнитной плазмы, например, на геостационарной орбите, с верхней границей спектра до 300 кэВ;
- источником УФ-излучения для моделирования излучения Солнца;
- датчиками измерения поверхностного потенциала испытуемого диэлектрика–электростатическим и рентгеновским;

- бесконтактными токовыми датчиками с полосой пропускания до 1 ГГц для измерения параметров зарядно-разрядных токов, вызванных электризацией;
- скоростной высокочувствительной видеокамерой со скоростью съемки до 10000 кадров в секунду при разрешении 640x480 пикселей, предназначенной для локализации и визуальной регистрации электростатических разрядов;
- компьютерной системой регистрации и управления, разработанной на основе системы сбора данных National Instruments.

Общий вид испытательного стенда «Прогноз-2» показан на следующем рисунке.

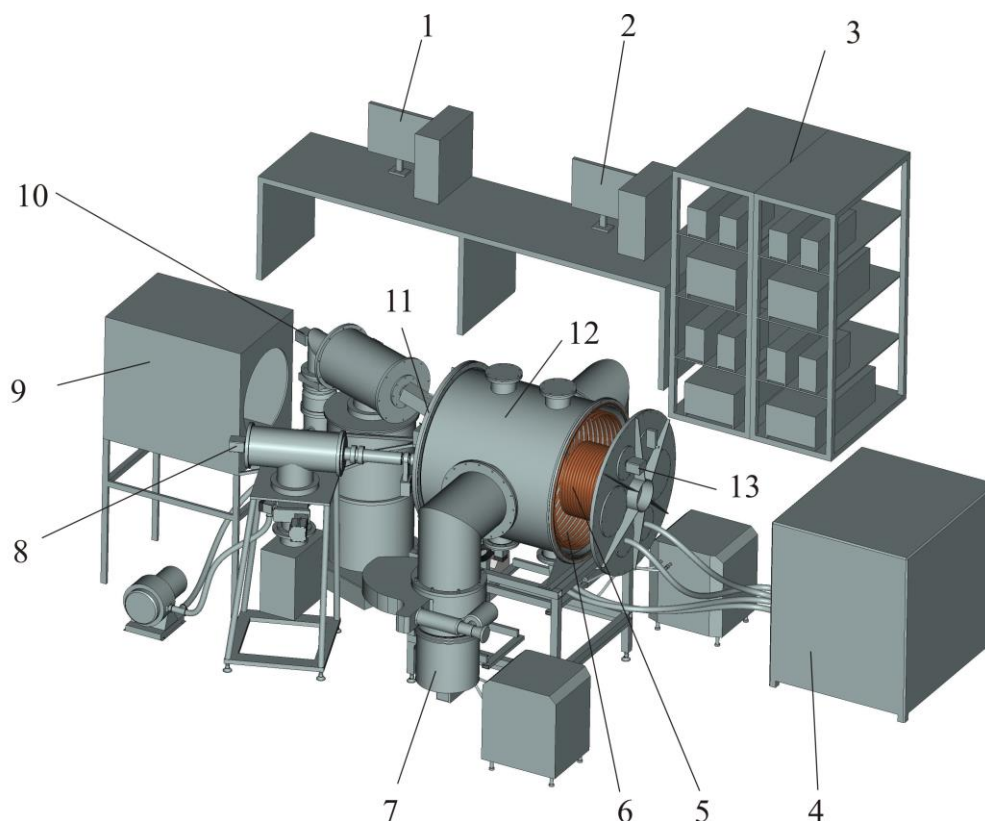


Рис. 1. - Испытательный стенд «Прогноз-2»

- | | |
|---|---------------------------------|
| 1, 2 – управляющая и регистрирующая ПЭВМ, | 8 – электронная пушка 70 кэВ, |
| 3 – стойки с измерительным и управляющим оборудованием, | 9 – имитатор Солнца, |
| 4 – холодильная установка, | 10 – электронная пушка 300 кэВ, |
| 5 – криоплита с криоэкраном, | 11 – скоростная видеокамера, |
| 6 – криорубашка, | 12 – вакуумная камера, |
| 7 – крионасос, | 13 – вакуумметр. |

При испытаниях на радиационную электризацию подсистем КА, например, подсистемы ориентации, предполагается, что часть подсистемы ориентации в виде стационарного плазменного двигателя СПД, располагается внутри вакуумной камеры и подвергается воздействию электронного излучения, в то время как входящая в состав бортовой аппаратуры другая часть системы ориентации, в виде электронной системы

питания и управления СПД, находится вне вакуумной камеры, причём обе части соединены штатным кабелем. Это позволяет корректно определить параметры разрядных токов, инжектируемых в систему питания и управления СПД, например, через анодную и катодную цепи двигателя СПД и на этой основе правильно выбрать параметры защитного фильтра для системы питания и управления.

2. Ультразвуковая томография

На данный момент ТПУ обладает существенными наработками в решении для осуществления контроля композитных материалов. Ультразвуковой контроль производится в эхо-импульсном режиме двумя методами:

Эхо-импульсный метод фокусированными одноэлементными преобразователями

Эхо-импульсный метод фазированными антенными решётками с синтетической фокусировкой в объекте контроля (принцип «Digital Focus Array»)

Аппаратное обеспечение системы контроля позволяет подключать одновременно до 16 одноэлементных преобразователей, а также линейные фазированные решётки с количеством элементов до 128. При каждой операции контроля или в каждой позиции контроля возбуждается один элемент преобразователя фазированной решётки, в то время, как все элементы группы (виртуальный преобразователь) принимают ультразвуковые эхо-сигналы. Таким образом, при каждой операции контроля охватывается часть контрольного объёма. Информация из всех позиций контроля переносится на каждый объёмный элемент, с учётом времени перемещения ультразвука. В результате возникает томографическое изображение контролируемого участка. Благодаря применению параллельных компьютерных структур, во время процесса сканирования выполняется реконструкция и отображение снимка результата.

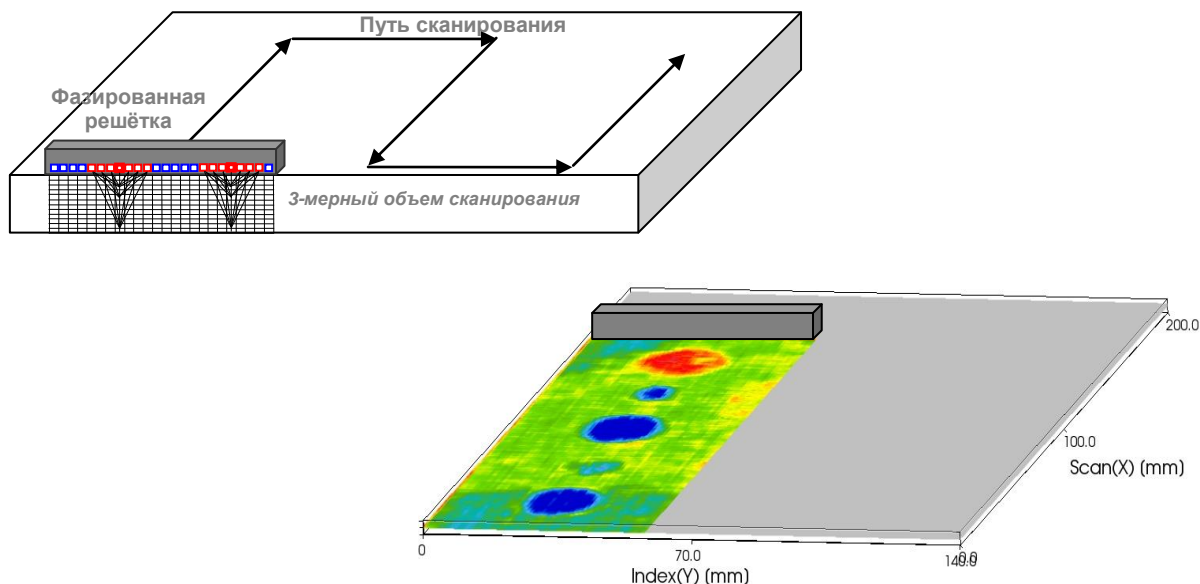


Рис. 2. - Схематичное изображение принципа контроля

При этом результаты контроля отличаются значительно улучшенной способностью обнаружения дефектов, по сравнению с обычными методами контроля, поскольку синтетическое фокусирование в каждой точке контрольного объема приводит к повышенной чувствительности контроля и улучшенному разрешению.

Блок ультразвуковой электроники, являющийся основой предлагаемой системы, представляет собой 128-канальные модули, реализующие как принципы обычной фазированной решетки с физическим качанием и фокусировкой ультразвукового луча, так и принцип «Digital Focus Array» с синтетической реконструкцией всех требуемых углов ввода после одного или нескольких тактов зондирования. На базе данного модуля также могут быть реализованы многоканальные системы контроля на базе обычных (одноэлементных) ультразвуковых преобразователей. Таким образом данная электроника может применяться для решения широкого круга задач автоматизированного ультразвукового контроля.

3. Активный тепловой контроль ксеноновых топливных баков методом активного теплового контроля

Композитные ксеноновые топливные баки спутников представляют собой сосуд из лайнера, выполненного из титана и обмотанного силовой композитной оболочкой из углепластика. Возможными дефектами баков являются трещины лайнера, расслоения между углепластиком и титаном, а также недопустимые неоднородности теплофизических характеристик композита. Трещины, возникшие в процессе изготовления бака, ведут к утечкам продукта и являются абсолютно недопустимыми, в то

время как расслоения и неоднородности композита могут приводить к появлению трещин в процессе механических испытаний.

Активный тепловой контроль основан на анализе динамики температурных полей в объекте контроля при их стимуляции различной физической природы. Классический тепловой контроль предусматривает нагрев бака оптическим излучением или горячим воздухом. Предварительные эксперименты показали принципиальную возможность стимуляции баков с помощью теплого воздуха, подаваемого внутрь бака; при этом анализируют динамику температуры на внешней поверхности бака, в результате чего возможно построение карт теплофизических свойств конструкции.

Новым способом теплового контроля является стимуляция объекта ультразвуковыми колебаниями значительной мощности. Такая стимуляция приводит к аномальному тепловыделению в трещинах за счет внутреннего трения, причем основной материал остается «холодным». Данный способ весьма привлекателен для выявления «слипнутых», то есть весьма малых, трещин, однако требует решения проблемы неразрушающего ввода ультразвука.

Перспективным направлением исследований является тепловизионный мониторинг внешней поверхности бака в процессе механических испытаний. Зоны аномальной деформации проявляются в виде характерных источников тепловыделения, что позволяет надеяться на создание методики испытаний, не требующей доведения объекта контроля до фатального состояния.

4. Рентгеновская томография

Из известных к настоящему времени способов промышленной томографии наибольшее распространение нашла рентгеновская, поскольку рентгеновские лучи хорошо проникают через различные конструкционные материалы. Преимущества рентгеновского томографического контроля подтверждаются наличием десятка фирм из разных стран на этом сегменте рынка: X-View CT, Varian Medical Systems, Rapiscan Systems, American Science and Engineering, Toshiba IT & Control Systems, Hitachi, Shimadzu, Saki, GE, Phoenix|x-ray, YXLON International, X-Tek Systems, Nikon Metrology, Проминтро. Рост размерности и структурной сложности технических устройств, особенно в авиакосмической и военной технике, нефтегазовой отрасли и металлургии, опережает возможности существующей рентгеновской томографии. Для томографов нового поколения требуется создание источников излучения с более высокой импульсной

мощностью. Такое излучение может быть получено с использованием индукционных ускорителей электронов – бетатронов.

Томограф, разработанный в ТПУ (Томск) на базе бетатрона, позволяет определять дефекты в различных материалах: от металлов до полимеров.

Основные технические характеристики томографа крупногабаритных объектов:

Пространственное разрешение томограммы, мкм	100
диаметр объекта, мм	1000
масса объекта, кг	1000
габариты рабочей области, мм	2000x2740x2320
Источник бетатрон	МИБ9(ТПУ)
Энергия электронов,	МэВ до 9
Фокусное пятно, мм	1x0,3
Детектор панель (PerkinElmer)	XRD1622
размер детектора, мм	400x400
разрешение детектора, мкм	200
Детектор линейка	X-Scan iHE2-410 (Detection Technology)