

## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СИГНАЛОВ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ ПРИ СТАТИЧЕСКОМ НАГРУЖЕНИИ ТРЕЩИН**

**Будников А. В.**<sup>1,2</sup>

**Научный руководитель – к.т.н, доцент, Быченков В. А.**<sup>1,2</sup>

**Научный консультант – доцент, Барат В. А.**<sup>3</sup>

**Научный консультант – к.т.н, доцент, Беркутов И. В.**<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Университет ИТМО, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup>Учреждение науки ИКЦ СЭКТ, Санкт-Петербург, Россия

<sup>3</sup>ООО «ИНТЕРЮНИС-ИТ», Москва, Россия

ikcsever2@yandex.ru

### **Введение**

Контроль герметичности корпусов обитаемых космических аппаратов (КА) является ключевым условием безопасности экипажа, влияет на продолжительность автономного полета и определяет общий ресурс конструкции.

Одной из основных угроз герметичности обитаемых КА являются развивающиеся (растущие) трещины в элементах корпуса КА. Сложность их своевременного обнаружения и наблюдения обусловлена как малыми геометрическими размерами на начальной стадии развития, так и возможным расположением в труднодоступных местах конструкции — за элементами трубопроводов, агрегатами и оборудованием, под ремонтными заделками [1].

Данные факторы делают малоэффективными традиционные методы визуального и инструментального контроля, что обуславливает необходимость применения методов диагностики, способных фиксировать сам процесс роста и развития трещин. К числу таких методов относится акустическая эмиссия (АЭ), позволяющая не только обнаружить, но и локализовать источник сигнала (трещину) в процессе его нагружения (механическое, термическое или др.) или роста в режиме реального времени [2].

### **Цель и задачи**

Целью работы является экспериментальное определение минимального (порогового) значения нагрузки, при котором метод акустической эмиссии позволяет достоверно зафиксировать сигнал от трещины в материале, применяемом для изготовления корпусов обитаемых космических аппаратов.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- Проведение натурных испытаний образцов с искусственно выращенными трещинами на одноосное растяжение с одновременной регистрацией параметров АЭ.
- Анализ полученных акустических сигналов и идентификация момента срагивания трещины (ее развития).
- Определение корреляции между приложенной нагрузкой и появлением характерных сигналов АЭ.

### **Методика и условия проведения эксперимента**

Исследования проводились на плоских образцах, выполненных в форме прямоугольных листов (пластин) из алюминий-магниевого сплава, применяемых в

конструкциях космических аппаратов. В центральной части каждого образца предварительно были выполнены усталостные трещины.

Нагружение осуществлялось на универсальной испытательной машине LFM-150 с регистрацией диаграммы «нагрузка–перемещение». Регистрация сигналов АЭ производилась многоканальным цифровым комплексом A-Line PCI-1 (Ethernet Box). В качестве первичных преобразователей использовались датчики АЭ с диапазоном рабочих частот 50-250 кГц, устанавливаемые непосредственно на образцы с применением контактной жидкости и прижимных устройств [3].

Перед испытаниями проводилась калибровка каналов АЭ методом Су-Нильсена. Нагружение (одноосное растяжение) образцов выполнялось по ступенчатому закону. На каждой ступени нагружения производилась выдержка 60 секунд с последующим снятием нагрузки. В процессе каждого эксперимента синхронно фиксировались текущая нагрузка, деформация и параметры сигналов АЭ.

После завершения экспериментальной серии выполнялся пост-анализ данных. Минимальная нагрузка, при которой был зарегистрирован первый устойчивый сигнал АЭ, однозначно отличающийся от фоновых шумов (шумов захватов, двигателя испытательной машины и т.п.), принималась за пороговое значение нагрузки для данного образца. Полученные значения усреднялись по каждой партии образцов для получения статистически значимых результатов для каждого из исследуемых материалов.

### **Выводы**

В работе получены экспериментальные данные о пороговых значениях нагрузок для образцов с искусственно выращенными трещинами, имитирующими реальные повреждения корпусов КА. Проведенные экспериментальные исследования подтвердили возможность и определили условия регистрации начальных стадий роста трещин методом АЭ.

Установлено, что момент регистрации сигналов АЭ коррелирует с превышением максимальной нагрузки предыстории образца (эффект Кайзера), что позволяет идентифицировать возобновление роста трещины.

Полученные результаты могут быть использованы при разработке системы технического диагностирования корпусов пилотируемых космических аппаратов. Полученные пороговые значения могут быть использованы для настройки аппаратуры АЭ в системах технического диагностирования на пилотируемых КА с целью идентификации сигналов, соответствующих начальным стадиям разрушения, и повышения достоверности контроля герметичности.

### **Литература**

1. Барат В.А., Елизаров С.В., Иванов В.И. Эмпирический подход к оценке вероятности обнаружения усталостных трещин методом акустической эмиссии. Всероссийская конференция с международным участием «Актуальные проблемы метода акустической эмиссии» (АПМАЭ-2021), 13-16 апреля 2021, Санкт-Петербург: сборник материалов. Межгосударственный координационный совет по физике прочности и пластичности материалов [и др.]; редакционная коллегия: д.т.н. Федоров А.В. и др. Санкт-Петербург. Свен. 2021. ISBN 978-5-91161-051-7. С. 107-108
2. Шипша В.Г., Шаргин Ю.Г., Сотников А.С. Обоснование применимости метода акустической эмиссии при локализации негерметичности КА в орбитальном полете //Деп. В ЦСИФ МО РФ. Указатель деп. Рук., Серия А, вып. 3(92), 2006г., инв. № А-28812.

3. Быченко В.А., Прохорович В.Е., Барат В.А., Шипша В.Г., Беркутов И.В., Будников А.В. Результаты экспериментальных исследований поиска утечек воздуха в вакуум на образцах с искусственными дефектами методом акустической эмиссии // Акустооптические и радиолокационные методы измерений и обработки информации: Труды XVIII Международной научно-технической конференции - 2025. - С. 219-221