

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ  
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ имени академика С.П. КОРОЛЕВА»

Н.Д. СЕМКИН

ИСПЫТАНИЯ МАТЕРИАЛОВ И ЭЛЕМЕНТОВ  
КОНСТРУКЦИЙ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ  
КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

*Рекомендовано учебно-методическим объединением вузов Российской Федерации  
по образованию в области радиотехники, электроники, биомедицинской техники  
и автоматизации в качестве учебного пособия для студентов высших  
учебных заведений, обучающихся по специальности  
210201 «Проектирование и технология радиоэлектронных средств» направления  
210200 «Проектирование и технология электронных средств»*

С А М А Р А  
Издательство СГАУ  
2010

УДК СГАУ : 629.78(075)  
ББК 39.6  
С 307

Рецензенты: д-р техн. наук, проф. А.Н. К о м о в  
д-р техн. наук, проф. М.Н. П и г а н о в

*Семкин Н.Д.*

**С 307 Испытания материалов и элементов электронного оборудования космических аппаратов:** учеб. пособие/ *Н.Д. Семкин* – Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2010. – 320 с.: ил.

**ISBN 978-5-7883-0758-9**

Обобщены литературные данные и собственные экспериментальные и теоретические результаты авторов в области методик проведения испытаний элементов конструкций космических аппаратов. Основное внимание уделено вопросам испытаний элементов конструкций и электронного оборудования на воздействие космических излучений, вакуума, частиц космического мусора, а также разработкам и результатам радиационных испытаний. Рассмотрены физические модели взаимодействия основных видов космических излучений с твердыми веществами. Приведены различные конструкции экспериментальных стендов для наземных испытаний, результаты испытаний.

Приведены также некоторые результаты натурных испытаний, подтверждающих теоретические разработки моделей собственной внешней атмосферы, электризации космических аппаратов, высокоскоростного взаимодействия микрометеороидов и частиц космического мусора, а также многочисленных данных по измерению солнечной активности, воздействию различных видов излучений на электронное оборудование космических аппаратов.

Книга может быть полезна инженерам, студентам соответствующих специальностей в области создания элементной базы, научной электронной и радиотехнической продукции для космических исследований, а также студентам аэрокосмического приборостроения и научным сотрудникам предприятий космического профиля.

УДК СГАУ : 629.78(075)  
ББК 39.6

Утверждено Редакционно-издательским советом университета в качестве учебного пособия

**ISBN 978-5-7883-0758-9**

© Самарский государственный  
аэрокосмический университет, 2010

## ВЕДЕНИЕ

Важнейшую роль в обеспечении длительной безотказной работы космических аппаратов (КА) играет стойкость их конструкционных материалов и элементов бортового оборудования к воздействию окружающей космической среды. По оценкам отечественных и зарубежных экспертов, более половины отказов и сбоев в работе бортовой аппаратуры КА обусловлено неблагоприятным воздействием факторов космического пространства (ФКП).

На КА в полете воздействует обширный комплекс ФКП: потоки электронов и ионов высокой энергии, холодная и горячая космическая плазма, солнечное электромагнитное излучение, метеорная материя, твердые частицы искусственного происхождения и другие факторы. В результате такого воздействия в материалах и элементах бортового оборудования КА протекают разнообразные физико-химические процессы, приводящие к ухудшению их эксплуатационных параметров. В зависимости от характера процессов, инициируемых воздействием космической среды, происходящие изменения свойств материалов и элементов оборудования могут иметь разный временной масштаб, быть обратимыми или необратимыми, представлять различную опасность для бортовых систем.

Некоторые из воздействующих факторов, например, космическая плазма и солнечное ультрафиолетовое (УФ) излучение, оказывают влияние лишь на приповерхностные слои материалов. Другие, такие как заряженные частицы высокой энергии, вместе с создаваемыми ими в элементах конструкции КА вторичными частицами и квантами, способны проникать глубоко в толщу материалов, а также во внутренние отсеки КА. При этом воздействие ФКП может приводить как к постепенному ухудшению свойств материалов и характеристик бортовых систем и, как следствие, к отказам в работе КА по истечении некоторого периода эксплуатации, так и к возникновению внезапных отказов в работе бортовой аппаратуры, непосредственно сопровождающих воздействие. В качестве типичного примера, иллюстрирующего первый случай, можно указать постепенное снижение эффективности солнечных батарей КА в результате накопления поглощенной дозы космической радиации, а для иллюстрации второго случая – сбой в микросхемах с высокой степенью интеграции под действием одиночных протонов или тяжелых ионов высокой энергии.

Многообразие факторов, воздействующих на КА, сложные энергетические спектры космических корпускулярных и электромагнитных излучений, возможность воздействия ФКП в различных сочетаниях и в разной временной последовательности – все это значительно затрудняет изучение и прогнозирование изменений свойств материалов и характеристик бортовых систем КА в условиях космической среды.

Интенсивные работы в этой области, стимулированные практическими запросами космической отрасли, привели фактически к созданию нового на-