

# ИССЛЕДОВАНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА, МЕХАНИЗМОВ ОБРАЗОВАНИЯ ПАРАЗИТНЫХ ПЛЕНОК НА ОПТИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЯХ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА И ИЗМЕНЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА СВЕТОПРОПУСКАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ОПТИКИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТОЛЩИНЫ ПАРАЗИТНОЙ ПЛЕНКИ

Дюгаева Н. А.

ОАО «Корпорация космических систем специального назначения «Комета»,  
г. Москва, Россия

Для решения основной задачи – практического подтверждения изменения светопропускания оптики в течение всего срока эксплуатации космического аппарата проведен комплекс работ, направленный на изучение кинетики деструкции некоторых конструкционных материалов, применяемых в КА, и состава летучих конденсирующихся веществ.

## **Целями работы являлись:**

- исследование процессов деструкции конструкционных материалов КА, подвергающихся воздействию ФКП;
- исследование состава летучих конденсирующихся веществ на конденсационных пластинах;
- исследование структуры и физико-химических характеристик паразитных пленок
- исследование зависимости коэффициента светопропускания от толщины пленки.

Деструкция конструкционных материалов КА и, как следствие, интенсивное газовыделение и конденсация продуктов СВА на поверхностях КА представляет серьезную опасность для КА в целом, а при длительных сроках эксплуатации может приводить к отказу бортового оборудования КА или изменению его функциональных характеристик.

При исследовании деструкции материалов КА под воздействием ФКП нами был сделан акцент на исследовании продуктов их разрушения, попадающих в космическое пространство и становящихся компонентами СВА КА под воздействием температуры и глубокого вакуума.

Как известно, в состав собственной внешней атмосферы КА входят твердые частицы, отрывающиеся от поверхности аппарата, продукты выхлопа двигателей, газы и частицы, попадающие в космическое пространство из внутренних отсеков космического аппарата за счет утечек, при шлюзовании и пр.

Под действием факторов космического пространства компоненты СВА (продукты деструкции материалов) конденсируются на поверхностях КА с образованием пространственных структур. Такие структуры в первую очередь затрудняют работу оптических приборов КА и прочих устройств. Для решения задачи предотвращения пленкообразования на поверхностях КА (или борьбы с пленкообразованием) первостепенными проблемами являются определение химического состава СВА, определение механизмов пленкообразования на поверхностях КА, а также вклад продуктов газовыделения (деструкции) материалов в состав СВА.

Исследования проводились в двух основных направлениях:

1. Исследование процессов термовакуумного воздействия на полимерные материалы и связанных с этим воздействием процессов деструкции и окисления полимерных материалов.
2. Исследование неразрывно связанного с испарением процесса пленкообразования продуктов газовыделения на различных поверхностях.

Исследование динамики процесса газовыделения отдельных полимерных материалов, химического состава продуктов деструкции и механизма пленкообразования осуществлялось на современном оборудовании с применением методик: термогравиметрического анализа и термовакуумной обработки материалов, метода

хромато-масс-спектрометрии, методов оптической микроскопии, сканирующей электронной микроскопии и атомно-силовой микроскопии.

Анализ экспериментальных данных позволил установить, что механизм роста паразитной пленки из продуктов газовой выделенной материала Радпласт Т2 – островковый.

Исследуемыми параметрами являлись высота и форма зародышей и особенности постепенного их роста. В случае остальных материалов преобладающим также является островковый механизм образования пленок.

На основе полученных экспериментальных данных была разработана упрощенная математическая модель роста паразитных пленок.

Для решения задачи предотвращения пленкообразования на поверхностях космического аппарата (КА), работающих вне гермообъемов, первостепенными проблемами являются определение химического состава собственной внешней атмосферы (СВА) КА, химического состава продуктов, сконденсировавшихся на поверхностях КА, и механизмов пленкообразования на поверхностях КА, а также оценки вклада продуктов газовой выделенной (деструкции) материалов в состав СВА.

Стойкость неметаллических (полимерных) материалов к ФКП определяется в первую очередь химической природой полимера. Изменение химической структуры полимера вызывает изменение физических свойств материала.

Определение химического состава паразитных пленок, полученных на кварцевых конденсационных пластинах проводили с использованием современного лабораторного оборудования – хромато-масс-спектрометр FOCUS DSQ II фирмы ThermoFisher Scientific, позволяющего хроматографически идентифицировать индивидуальные компоненты и определять их масс-спектральные характеристики.

Для исследования было выбрано 14 конструкционных материалов, применяемых на борту КА. Основным интересом представляют следующие материалы: лак ЭП-730, стеклотекстолит ЭФ-32-301, лента ЛЭТСАР КП, трубка термоусаживаемая Радпласт Т-2, эмаль ЭКОМ-1, так как данные материалы имеют высокие величины ПМ и ЛКВ.

Для оценки влияния толщины паразитной пленки на изменение коэффициента светопропускания элементов оптики были экспериментально получены пленки в результате имитации воздействия факторов космического пространства на образцы покрытия ЭКОМ-1 (черная). Пленки были получены на образцах элементов оптики, имитирующих реальные оптические элементы КА.

В результате проведенной работы были сделаны следующие выводы:

1. При исследовании структуры осадков легкоконденсирующихся веществ было установлено, что на оптических поверхностях преобладает островковый механизм образования паразитных пленок.
2. Исследование структуры пленок, полученных на кварцевых и стальных пластинах, показало различие в механизмах пленкообразования в зависимости материала поверхности конденсации.
3. Разработана модель пленкообразования, позволяющая рассчитывать кинетику и физико-механические свойства пленок, осаждающихся на кварцевых оптических элементах
4. Хромато-масс-спектрометрические исследования показали, что продуктами деструкции полимерных материалов являются главным образом пластификаторы, остатки катализаторов, фрагменты цепи полимера, антипирены и наполнители.
5. В результате спектрометрических исследований выявлено, что некоторые материалы имеют определенный химический состав, который позволяет идентифицировать их по продуктам их деструкции под действием глубокого вакуума и температуры.
6. По результатам измерения оптических характеристик до и после эксперимента в установке по имитации факторов космического пространства спектральный коэффициент отражения во всех областях спектра снизился приблизительно на 10–15%, в то время как

допустимое значение снижения спектрального коэффициента отражения образца по ТЗ на изготовление зеркала диагонального должно составлять не более 5%.

Результаты проведенной работы являются основой для создания комплексной методики для подтверждения изменения значений светопропускания ИК оптики, работающей в условиях открытого космоса, при длительных сроках эксплуатации КА в негерметичном исполнении.