

Сведения о ходе выполнения проекта

«Разработка новых концепций, конструктивно-силовых схем и цифровых моделей несущих композитных конструкций и гибких трансформируемых ободных антенн для перспективных информационных спутниковых систем»

Руководитель проекта д-р техн. наук Лопатин А.В.

В ходе выполнения проекта по Соглашению о предоставлении субсидии от 26 сентября 2017 г. № 14.575.21.0144 с Минобрнауки России в рамках ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014-2020 годы» на этапе № 2 в период с 01.01.2018 г. по 31.12.2018 г. выполнены следующие работы:

1. Разработаны конечно-элементные модели:

- адаптера полезной нагрузки, выполненного в виде композитной конической оболочки;
- адаптера полезной нагрузки, выполненного в виде композитной многогранной оболочки;
- корпуса КА, выполненного в виде перфорированной трехслойной цилиндрической оболочки;
- корпуса КА, выполненного в виде многогранной сетчатой призматической оболочки;
- сверхлегкой гибкой антенны КА Кубсат (CubeSat) с апертурой 1 м;
- гибкой ободной антенны с апертурой 12 м;
- торового сетчатого обода антенны с плоской отражающей поверхностью;
- радарной антенны КА.

2. Разработаны методики проектирования:

- адаптера полезной нагрузки, выполненного в виде композитной конической оболочки при наличии ограничений, накладываемых на критические усилия и частоты колебаний;
- адаптера полезной нагрузки, выполненного в виде композитной многогранной оболочки при наличии ограничений, накладываемых на критические усилия и частоты колебаний;
- корпуса КА, выполненного в виде перфорированной трехслойной цилиндрической оболочки при наличии ограничений, накладываемых на критические усилия и частоты колебаний;
- корпуса КА, выполненного в виде многогранной сетчатой призматической оболочки при наличии ограничений, накладываемых на критические усилия и частоты колебаний;
- сверхлегкой гибкой антенны КА Кубсат (CubeSat) с апертурой 1 м при наличии ограничений, накладываемых на частоты колебаний и размеры в сложенном состоянии;
- гибкой ободной антенны с апертурой 12 м при наличии ограничений, накладываемых на частоты колебаний и размеры в сложенном состоянии;

- торового сетчатого обода антенны с плоской отражающей поверхностью при наличии ограничений, накладываемых на частоты колебаний и размеры в сложенном состоянии;
 - радарной антенны, при наличии ограничений, накладываемых на кинематические и динамические параметры раскрытия.
3. Проведены теоретические исследования механических характеристик разрабатываемых конструкций включающие:
- разработку аналитической геометрически-нелинейной модели гибкой спицы рефлектора крупногабаритной трансформируемой антенны;
 - разработку аналитической модели влияния параметров структурной анизотропии на основную частоту колебаний слоистой пластины с жестко закрепленными краями;
 - разработку аналитической модели осесимметричного деформирования слоистой анизотропной цилиндрической оболочки.
4. Проведены аналитические исследования по подбору композиционного материала для изготовления перспективной сверхлегкой гибкой антенны КА Кубсат (CubeSat) с апертурой 1 м.
5. Выполнено проектирование и разработан комплект эскизной КД для изготовления макета сверхлегкой гибкой антенны КА Кубсат (CubeSat) с апертурой 1 м.
6. Проведены теоретические исследования колебаний и устойчивости трехслойных цилиндрических панелей перфорированного трехслойного корпуса КА, включающих:
- разработку аналитической модели влияния параметров панели с жестко закрепленными краями на основную частоту колебаний;
 - разработку аналитической модели влияния параметров панели, у которой продольные края жестко закреплены, а криволинейные свободно оперты, на величину критического сжимающего усилия.
7. Разработаны методики проектирования трехслойных цилиндрических панелей перфорированного трехслойного корпуса КА на основе аналитических решений:
- трехслойной цилиндрической панели при наличии ограничения, накладываемого на основную частоту колебаний;
 - трехслойной цилиндрической панели, у которой продольные края жестко закреплены, а криволинейные свободно оперты, при наличии ограничения, накладываемого на величину критического сжимающего усилия.
8. Проведены теоретические исследования устойчивости и колебаний композитных элементов несущих корпусов КА, включающих:
- разработку аналитической модели влияния параметров сетчатой пластины с жестко закрепленными краями на критические усилия;
 - разработку аналитической модели влияния параметров сетчатой цилиндрической панели с жестко закрепленными краями на основную частоту колебаний;
 - разработку аналитической модели влияния параметров сетчатой цилиндрической панели с жестко закрепленными краями на критическое сжимающее усилие;

- разработку аналитической модели влияния параметров сетчатой цилиндрической оболочки с прикрепленными массами на основную частоту колебаний;
 - разработку аналитической модели устойчивости композитной цилиндрической оболочки при всестороннем давлении.
9. Разработаны методики проектирования на основе аналитических решений:
- сетчатой пластины призматического корпуса КА, при наличии ограничений, накладываемых на критические усилия;
 - композитной сетчатой цилиндрической панели корпуса КА, при наличии ограничений, накладываемых на критическое усилие и основную частоту колебаний;
 - сетчатой цилиндрической оболочки с прикрепленными массами, при наличии ограничений, накладываемых на основную частоту колебаний;
 - композитной цилиндрической оболочки, при наличии ограничений, накладываемых на величину всестороннего критического давления.
10. Разработана методика оптимизации формообразующей системы сетчатых трансформируемых рефлекторов на основе метода плотности сил, включая:
- определение топологии формообразующей системы трансформируемых сетчатых рефлекторов;
 - составление и решение систем уравнений равновесия формообразующей системы трансформируемых сетчатых рефлекторов;
 - использование результатов оптимизации в конечно-элементном моделировании трансформируемых сетчатых рефлекторов.
11. Принято участие в профильных конференциях, семинарах, выставках с целью презентации результатов проекта.
12. Выполнено проектирование, выпуск КД, изготовлено устройство фиксации спиц рефлектора в транспортировочном положении.
13. Разработано техническое задание для выпуска КД для устройства фиксации спиц рефлектора 4,2 м в транспортировочном положении.
14. Выполнено проектирование и выпуск КД для макета комбинированного рефлектора 4,2 м.
15. Разработана программа и методика экспериментальных исследований макета рефлектора 4,2 м.
16. Принято участие в профильных конференциях, семинарах, выставках с целью презентации результатов проекта.

Основные результаты проекта:

На втором этапе выполнены разработки конечно-элементных моделей адаптера полезной нагрузки, выполненного в виде композитной конической оболочки, адаптера полезной нагрузки, выполненного в виде композитной многогранной оболочки, корпуса КА, выполненного в виде перфорированной трехслойной цилиндрической оболочки, корпуса КА, выполненного в виде многогранной сетчатой призматической оболочки, сверхлегкой гибкой антенны КА Кубсат (CubeSat) с апертурой 1 м, гибкой

ободной антенны с апертурой 12 м, торового сетчатого обода антенны с плоской отражающей поверхностью, радарной антенны КА.

Выполнены разработки методик проектирования: адаптера полезной нагрузки, выполненного в виде композитной конической оболочки при наличии ограничений, накладываемых на критические усилия и частоты колебаний; адаптера полезной нагрузки, выполненного в виде композитной многогранной оболочки при наличии ограничений, накладываемых на критические усилия и частоты колебаний; корпуса КА, выполненного в виде перфорированной трехслойной цилиндрической оболочки при наличии ограничений, накладываемых на критические усилия и частоты колебаний; корпуса КА, выполненного в виде многогранной сетчатой призматической оболочки при наличии ограничений, накладываемых на критические усилия и частоты колебаний; сверхлегкой гибкой антенны КА Кубсат (CubeSat) с апертурой 1 м при наличии ограничений, накладываемых на частоты колебаний и размеры в сложенном состоянии; гибкой ободной антенны с апертурой 12 м при наличии ограничений, накладываемых на частоты колебаний и размеры в сложенном состоянии; торового сетчатого обода антенны с плоской отражающей поверхностью при наличии ограничений, накладываемых на частоты колебаний и размеры в сложенном состоянии; радарной антенны, при наличии ограничений, накладываемых на кинематические и динамические параметры раскрытия.

Практическим результатом выполненных работ на втором этапе является разработка:

- эскизной КД для изготовления макета сверхлегкой гибкой антенны КА Кубсат (CubeSat) с апертурой 1 м и последующим её изготовлением;
- эскизной КД для изготовления макета устройства фиксации спиц рефлектора в транспортировочном положении;
- эскизной КД для макета комбинированного рефлектора 4,2 м;
- программы и методики экспериментальных исследований макета рефлектора 4,2 м.

Научная новизна разработанных концепций определяется тем, что с их помощью может быть выполнено проектирование принципиально новых конструктивных элементов космических аппаратов. Использование разработанных конструкций повысит весовую эффективность космических аппаратов, их эксплуатационные параметры и время работы на орбите. Результаты исследований помогут увеличить экономическую и экспортную привлекательность отечественной космической техники. Силовые и трансформируемые конструкции, разработанные в проекте, инициируют создание новых технологических процессов изготовления элементов космических аппаратов. Планируемые на дальнейших этапах работы соответствуют лучшим зарубежным практикам и тенденциям развития методов проектирования конструкций космической техники из композиционных материалов.

Работы, предусмотренные Техническим заданием и План-графиком, в отчетном периоде выполнены в полном объеме.