

## 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.

Целью выполнения данного проекта является:

1. Получение значимых научных результатов, касающихся создания новых концепций, конструктивно-силовых схем и моделей адаптеров полезной нагрузки, силовых корпусов и трансформируемых антенн с упругими элементами для перспективных космических аппаратов связи и телекоммуникаций.
2. Предоставление организациям, занимающимся проектированием космических аппаратов, новых концепций конструктивно-силовых схем их несущих элементов и трансформируемых антенн.
3. Вывод на рынок новых конструктивных решений на основе композиционных материалов, необходимых для создания космических аппаратов и космических антенн.
4. Обеспечение экспортного потенциала отечественных космических аппаратов за счет конструктивных преимуществ, появляющихся при использовании композитных силовых и гибких конструкций.

Для достижения поставленных целей, на первом этапе выполнен аналитический обзор, патентный поиск, выбор и обоснование направлений исследований. Показана тенденция возрастающего применения композиционных материалов в конструкциях отечественных и зарубежных космических аппаратов (КА) и применение новых различных концепций и конструктивных решений при разработке трансформируемых бортовых антенн на основе гибких элементов. Разработаны новые концепции: сверхлегкой гибкой антенны космического аппарата Кубсат с апертурой 1м, гибкой антенны с апертурой 12 м, антенны с плоской отражающей поверхностью, гибкого обода крупногабаритной трансформируемой бортовой антенны КА, силового корпуса КА, адаптера полезной нагрузки. Разработаны технические требования: по механическим нагрузкам, действующим на композитные адаптеры и корпуса космических аппаратов, по жесткости трансформируемых антенн и для проектирования комбинированного рефлектора бортовой антенны с апертурой 4.2 м. Выпущены технические отчеты о проектной конструкции рефлектора, о проектном механическом, модальном анализе и о температурных деформациях рефлектора с апертурой 4.2 м. Научная новизна разработанных концепций определяется тем, что с их помощью может быть выполнено проектирование принципиально новых сетчатых конструктивных элементов и гибких трансформируемых антенн космических аппаратов с улучшенными массо-габаритными и прочностными характеристиками.

Полученные результаты соответствуют лучшим зарубежным практикам, современному уровню развития техники и тенденциям развития методов проектирования конструкций космической техники из композиционных материалов.

Результаты могут быть положены в основу процесса проектирования перспективных силовых конструкций и бортовых антенн КА.

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.

И на завершающем, итоговом третьем этапе:

1. Разработаны электронные модели макетов адаптеров и корпусов КА, а также антенн различного исполнения.
3. Проведена сравнительная оценка научно-технического уровня полученных результатов с современным уровнем аналогичных разработок..
4. Выполнено обобщение полученных результатов, оценка полноты выполнения работ и достижения поставленных целей ПНИ.
5. Осуществлена технико-экономическая оценка результатов ПНИ. Проанализирована коммерциализируемость полученных разработок.
6. Проведение численных исследований электронных моделей макетов адаптеров и корпусов КА, а также антенн различного исполнения.
7. Разработаны программы и методики экспериментальных исследований макета сверхлегкой гибкой антенны КА Кубсат (CubeSat) с апертурой 1 м.
8. Проведен анализ перспективных концепций трансформируемых антенных систем КА с учетом полученных результатов.
9. Разработаны рекомендации и предложения по использованию полученных результатов на предприятиях космической отрасли (в том числе на предприятии Индустриального партнера), а также в дальнейших исследованиях и разработках.
10. Изготовлен и проведены экспериментальные исследования макета рефлектора 4,2 м.
11. Разработан проект ТЗ на проведение перспективного ОКР по созданию композиционных элементов конструкций КА или бортовых антенн КА.

Полученные научные результаты рекомендованы к внедрению и использованию на предприятиях космической отрасли, прежде всего в АО «ИСС», что позволит содействовать выводу на рынок новых конструктивных решений трансформируемых бортовых конструкций и гибких антенн с высокой весовой эффективностью на основе композиционных материалов, необходимых для создания нового поколения космических аппаратов связи и телекоммуникаций.