

УДК 629.785

Разработка перспективной космической платформы для космических аппаратов океанографического назначения серии «Метеор»

Гусев А.А.*, Ильина И.Ю.*, Усачев О.А.***

*Научно-производственная корпорация «Космические системы мониторинга,
информационно-управляющие и электромеханические комплексы» имени
А.Г. Иосифьяна, Корпорация "ВНИИЭМ", Хоромный тупик, 4, Москва,
107078, Россия*

**e-mail: count_rochester@mail.ru*

***e-mail: ntk.vniiem@bk.ru*

Аннотация

Целью данной работы являлось обоснование основных технических, конструкторских и технологических решений по реализации космического аппарата «Метеор-М» №3.

В соответствии с техническим заданием основное назначение этого КА – всепогодный и независимый от освещенности радиолокационный мониторинг с использованием бортового радиолокационного комплекса с активной фазированной антенной решеткой. Установка такой крупной и энергоемкой целевой аппаратуры накладывает определенные ограничения на выбор компоновки КА: обеспечение прочности и жесткости конструкции, центровка КА, а также осуществление маневров.

Учитывая отмеченные выше обстоятельства, для КА утверждена горизонтальная конструктивно-компоновочная схема на основе восьмигранной

углепластиковой призмы.

Заложенные в данную компоновку требования и реализуемые технические решения позволяют строить на ее основе унифицированную космическую платформу нового поколения. Таким образом, эта космическая платформа должна стать базовой для разработки очередного поколения спутников дистанционного зондирования Земли в ОАО «Корпорация «ВНИИЭМ».

Ключевые слова: космическая платформа, космический аппарат, стрингерно-шпангаутная силовая конструкция, углепластиковый цилиндр, Мировой океан

Введение

В настоящее время одним из актуальных направлений дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) из космоса становится решение задач мониторинга Мирового океана. Роль Мирового океана в природных процессах, а также в жизни людей общеизвестна. Однако изучение океана – это сложнейшая научная задача. Традиционные методы проведения научных исследований с научно-исследовательских судов (НИС) не позволяют достаточно оперативно и с минимальными затратами решать большинство океанографических задач. Поэтому с появлением космических аппаратов началось развитие методов дистанционного зондирования океана. Использование научно-исследовательской аппаратуры дистанционного изучения океана, установленной на космических аппаратах (КА) позволяет поднять исследования на новую качественную ступень, обеспечив быстрый обзор значительных площадей акваторий океанов и морей, большую продолжительность исследований, их качественно новую степень масштабности по

сравнению с исследованиями с борта НИС [1].

Задачи мониторинга океанографических процессов сильно взаимосвязаны метеорологическими задачами и в значительной степени перекрываются. Многие задачи мониторинга Мирового океана, такие, например, как температура поверхности океана (ТПО) решаются при помощи метеокомплекса, однако для решения ряда океанографических задач необходима специальная аппаратура.

К таким специфическим задачам океанографии относятся [2]:

- выявление зон интенсивной морской биопродуктивности;
- мониторинг волнений, спектра волн, интенсивности и направления приводного ветра, штормовых зон, ледовой обстановки в районах Северного морского пути;
- мониторинг солёности поверхности Мирового океана;
- мониторинг топографии поверхности и дна океана;
- мониторинг мелкомасштабных естественных и искусственных явлений в океане.

В связи с этим наряду с созданием метеорологических космических аппаратов также необходимо разрабатывать специальные спутники, предназначенные для решения задач мониторинга Мирового океана.

Космический аппарат «Метеор-М» №3. Основные характеристики

В ОАО «Корпорация «ВНИИЭМ» в рамках Федеральной космической программы на 2006-2015гг. ведется разработка космического комплекса (КК) «Метеор-3М», состоящий из пяти космических аппаратов. На первом этапе

создаются 4 КА гидрометеорологического назначения: КА «Метеор-М» №1, №2, №2-1 и №2-2, на базе, разработанной во ВНИИЭМ, унифицированной космической платформы с гермоотсеком «Ресурс-УКП». Первый КА данного комплекса «Метеор-М» №1 был запущен 17 сентября 2009 года и в настоящее время используется по целевому назначению. Следующие три КА будут соответствовать первому по назначению и составу (с улучшенными характеристиками) и дополнять комплекс с целью улучшения параметров обзорности и периодичности [3].

На втором этапе предполагается создание КА «Метеор-М» №3 на базе усовершенствованной космической платформы (КП) негерметичного исполнения. При этом основное назначение этого КА – всепогодный и независимый от освещенности радиолокационный мониторинг с использованием бортового радиолокационного комплекса (БРЛК) с активной фазированной антенной решеткой (АФАР), которым в последнее время в мировой космической технике уделяется большое внимание [3]. Основные характеристики данного КА представлены в таблице 1

Состав служебных систем КА носит практически унифицированный для космических аппаратов, разрабатываемых в ОАО «Корпорация «ВНИИЭМ», характер и включает в себя:

- бортовой комплекс управления (БКУ);
- система энергоснабжения (СЭС);
- система терморегулирования (СТР);
- система ориентации корпуса (СОК);

- система ориентации солнечной батареи (СОСБ);
- антенно-фидерные устройства (АФУ);
- корректирующая двигательная установка (КДУ)

При эскизном проектировании КА были определены основные положения разработки, которые могут быть сгруппированы по двум направлениям: особенности разработки КА с БРЛК высокого разрешения и унификация служебного модуля с учетом его дальнейшего применения для создания КА ДЗЗ с другими бортовыми информационными комплексами. Необходимо отметить, что многие инженерно-технические решения и аппаратура разрабатываемой платформы отрабатываются на КА «Метеор-М» №1, 2, 2-1, 2-2 (устройства командно-измерительная система (КИС), телеметрическая система (МБИТС), бортовая вычислительная машина (БВМ), аппаратура координатно-временного обеспечения (БСКВУ), звездные и другие датчики, а также исполнительные органы системы ориентации) [3].

При проектировании КП используются базовые решения, соответствующие как современным тенденциям в области разработки КП, так и опыту предприятия, накопленному при эксплуатации «Ресурс-УКП»:

- унификация конструкции и служебных систем новых космических платформ;
- негерметичное исполнение;
- использование конструкции приборного отсека в качестве силовой основы;
- применение современных облегченных и прочных конструкционных материалов (композиты, алюминиевые сплавы и т.п.);

- усовершенствованная электромеханическая система ориентации и стабилизации с магнитной разгрузкой;
- солнечные батареи из унифицированных по типоразмеру гетероструктурных модулей фотопреобразователей (ФП) на основе арсенида галлия;
- литий-ионные аккумуляторные батареи с высокими техническими и ресурсными параметрами;
- средства терморегулирования на основе практически только пассивных элементов (тепловые трубы, терморегулирующие покрытия, радиаторы, маты ЭВТИ и т.п.);
- автономность и интеллектуальность борта за счет высокоэффективных аппаратно-программных средств и технологий;
- прецизионное координатно-временное обеспечение за счет совместного использования данных от звездных датчиков и сигналов навигационных спутников;
- широкое применение современных методов автоматизированного проектирования для оптимизации компоновки бортовых систем и элементов;
- создание определенных резервов для возможных изменений массо-энергетических характеристик полезной нагрузки;
- создание резервов массы и энергии для коммерческих грузов.

Заложенные в проект современные конкурентоспособные характеристики позволят обеспечивать решение не только метеорологических и океанографических задач, но и задач других заказчиков и потребителей. В частности, на основании информации, получаемой с помощью КА «Метеор-М» № 3, планируется решение

следующих основных задач:

- обеспечение безопасности мореплавания, проведение фундаментальных и прикладных исследований ледяного покрова в приполярных акваториях мирового океана и замерзающих морях, а также крупных озерах умеренных широт;
- прогноз, мониторинг и информационное обеспечение мероприятий по ликвидации последствий наводнений;
- оперативный контроль за состоянием водной среды и соблюдением правил использования континентального шельфа в исключительной экономической зоне РФ;
- своевременное обнаружение, определение площади и конфигурации разливов нефтепродуктов на водной поверхности, а также мониторинг динамики развития загрязнений акватории мирового океана;
- мониторинг промысловых районов мирового океана в целях информационного обеспечения производственной деятельности рыболовного флота;
- исследование принципов тепломассопереноса на границе раздела океан-атмосфера в интересах решения прикладных и фундаментальных проблем гидрометеорологии и океанографии;
- агрометеорологическое обеспечение сельскохозяйственного производства.

Основные характеристики и предлагаемый состав бортовой научной аппаратуры перспективного океанографического КА «Метеор-М» №3 представлены в таблице 1 [4].

Таблица 1

Основные характеристики КА «Метеор-М» № 3			
Орбита КА	круговая, солнечно-синхронная, высота ~650 км, наклонение 97,99°		
Масса КА	~ 3000 кг		
Масса полезной нагрузки	~ 1200 кг		
Срок активного существования	7 лет		
Ориентация в штатном режиме	трехосная ориентация Земля-Курс		
Основные характеристики бортовой научной аппаратуры			
Аппаратура	Спектральный диапазон	Пространственное разрешение	Полоса обзора
Радиолокатор Элсар-1	X - диапазон	3/5/50/20/500 м	10/50/130/60/750 км
Скаттерометр	Ku - диапазон	25x25 км	1800 км
Сканер цветности океана МСУ-О	13 каналов 0,405 – 0,875 мкм	0,5 км	1800 км
Сканер береговой зоны	6 канала 0,433 – 0,885 мкм	80 м	800 км
Аппаратура радио-просвечивания атмосферы	до 24 каналов 1160 - 1600 МГц	Вертикальное разрешение 150 м Горизонтальное разрешение 300 км	

Названные виды мониторинговой аппаратуры отличаются исключительным разнообразием физических принципов, массогабаритных характеристик, потребностей в энергообеспечении, требований к поддержанию температурного режима и выделению полей обзора. Все это значительно усложняет их совместную установку и функционирование в составе единого КА. Сложную проблему при размещении и организации совместной работы больших комплексов мониторинговых приборов представляет также обеспечение их электромагнитной совместимости.

При наличии в полезной нагрузке достаточно крупных и энергоемких целевых

приборов возникают дополнительные трудности при выборе конструктивно-компоновочной схемы и обеспечении энергоснабжения космического аппарата.

Одной из наиболее серьезных проблем при определении компоновки космической платформы является достижение высокой жесткости и прочности корпуса и недопущение малых резонансных частот КА на адаптере системы отделения от разгонного блока «Фрегат» ракетоносителя «Союз-2» этапа 1б. Данные разгонный блок и ракетоноситель планируется использовать для создаваемых во ВНИИЭМ перспективных спутников серии «Метеор». Требование организации-изготовителя ракетоносителя по обеспечению резонансной частоты не ниже 10 Гц выполнить крайне сложно для рассматриваемых относительно крупных мониторинговых спутников среднего класса с массой в пределах от 2000 до 3000 кг.

Второй проблемой компоновки, также представляющей сложность для данного типа КА, служит требование центровки массы спутника с минимальным отклонением от центра его системы координат.

Также крайне сложной инженерной проблемой является обеспечение теплового режима КА в целом и АФАР в частности. Энергопотребление локатора составляет 5,5 кВт при сеансе 10 минут на витке, при этом тепловые деформации не должны изменять плоскостность рабочей поверхности АФАР более допустимой величины. Кроме этого на КА предусмотрены программные повороты вокруг продольной оси для переброски АФАР с правого борта КА на левый. В этом режиме СТР КА работает в экстремальном режиме, т.к. на радиатор попадают солнечные лучи, а солнечные батареи оказываются отвернутыми от солнца.

Выбор оптимальной компоновки КА «Метеор-М» №3

Многорезимный радиолокационный комплекс ЭЛСАР-1 является без преувеличения спутникообразующим прибором. Вся конструкция КП для КА «Метеор-М» №3 выбирается такой, чтобы обеспечить работу БРЛК в рамках заданных техническим заданием. БРЛК состоит из двух основных частей – антенной (АФАР) и системы управления. АФАР имеет следующие размеры 5600x1600x250 мм. Энергопотребление АФАР во время сеанса связи составляет 5,5 КВт. Масса АФАР составляет около 600 кг.

Для работы данного радиолокатора, принадлежащего к типу приборов бокового обзора, требуется разместить его весьма длинную и массогабаритную антенну параллельно вектору скорости полета спутника по орбите. Сам локатор необходимо расположить справа по борту так, чтобы нормаль к излучающей поверхности АФАР составляла с направлением на землю 40° . Предусмотрен режим программного поворота вокруг оси X (продольной оси КА) на 80° , таким образом, в этом режиме локатор располагается по левому борту КА, в связи с чем, момент инерции КА вокруг этой оси должен быть минимизирован.

Наличие длинной и тяжелой антенны и требование поворотов КА по крену приводят с целесообразности горизонтальной компоновки КП.

Другим целевым прибором является скаттерометр. Прибор имеет массу 150 кг и габариты 1400x1400x1400 мм. Скаттерометр включает в свой состав подвижный рефлектор. Для минимизации воздействий на подвижные части скаттерометра на этапе выведения, прибор под обтекателем расположен вертикально, т.е. ось вращения рефлектора совпадает с продольной осью ракеты-носителя (РН).

Для обеспечения работы данных приборов по электроснабжению необходима установка батареи фотоэлектрической (БФ) площадью не менее 30,5 м², которая должна быть жестко ориентированы по оси +Z.

Фотоэлектрическая батарея не снабжается собственной системой ориентации на Солнце и жестко закрепляется на корпусе КА в положении, ориентированном в зенит при орбитальной ориентации КА. Отказ от следящего привода БФ связан во-первых, с теми же задачами минимизации момента инерции КА для облегчения программных разворотов и миделя КА для сокращения затрат на поддержание орбитальных параметров; а во-вторых, с необходимостью снижения динамических возмущений, т.к. высокое разрешение БРЛК требует повышенной стабилизации.

Стрингерно-шпангоутная силовая схема конструкции КА

Исходя из задач КА, его состава, предъявляемым требованиям, а также стремясь максимально использовать имеющийся задел и опыт ОАО «Корпорация «ВНИИЭМ» первоначально была выбрана компоновка со стрингерно-шпангоутной силовой схемой.

Она включает 8 стрингеров, каждый из которых имел пару продольных ребер сечения 20x50 мм² из высокомодульного углепластика. Между собой стрингеры скреплялись пятью шпангоутами (три внутренних из углепластика, торцевые из алюминиевых сплавов). Для обеспечения локальной устойчивости стрингеров применяются 8 сотовых панелей, на которых размещена бортовая аппаратура. В результате образовывалась восьмигранная правильная призма, как показано на рис.1. Стрингеры вносят основной вклад в жесткость КП.

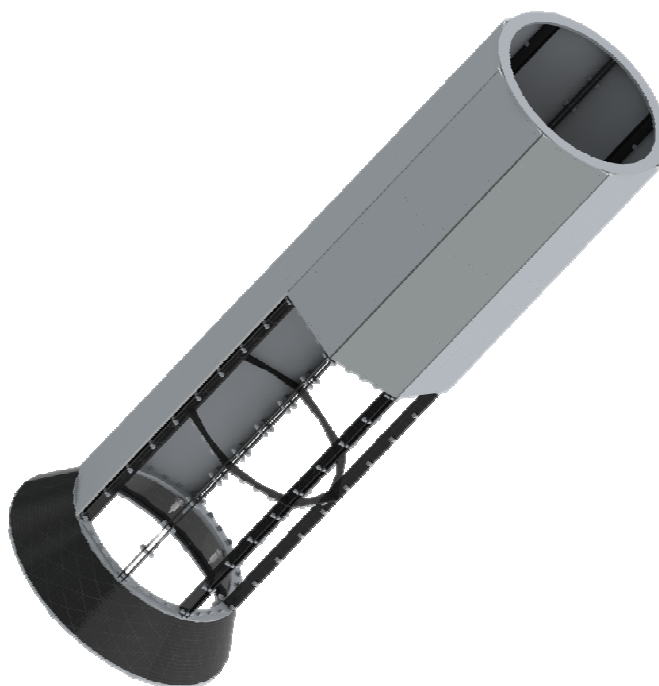


Рис.1 – Стрингерно-шпангоутная силовая конструкция КА «Метеор-М» №3

На данной конструкции по правому борту размещен АФАР так, чтобы нормаль к излучающей поверхности локатора составляла 40 градусов к направлению на землю. По направлению $-Z$ расположена платформа полезной нагрузки, на которой размещены различные антенно-фидерные устройства (АФУ) и оптико-электронная аппаратура КА.

В кормовой части КА размещена откидная платформа с установленными на ней скаттерометром и КДУ. На этапе выведения откидная платформа зачекована на корпусе КА так, чтобы ось вращения скаттерометра совпадала с продольной осью РН. После выведения срабатывает зачеховка и откидная платформа при помощи электромеханического привода поворачивается на 90°.

На сотопанелях с блоками предусмотрена рама из профиля для крепления бортовой кабельной сети (БКС). Таким образом, можно обеспечить простоту электромонтажа и его независимость от сотопанели.

Данная компоновка характеризуется массо-инерционными характеристиками представленными в таблице 2.

Таблица 2

Масса, кг		2500±100
Моменты инерции КА после отделения от РБ, кг·м ²	I_x	1500
	I_y	10700
	I_z	10800
Моменты инерции КА при штатном раскрытии элементов конструкции, кг·м ²	I_x	1500
	I_y	14200
	I_z	14300

На рисунке 2 представлен внешний облик КА «Метеор-М» №3 на основе стрингерно-шпангоутной силовой конструкции.

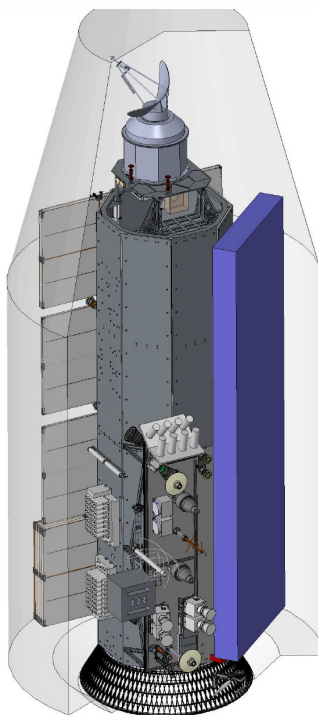


Рис.2 – КА «Метеор-М»3 на основе стрингерно-шпангоутной силовой конструкции

Преимуществами данной компоновки являются:

- малый момент инерции вокруг продольной оси КА;

- простота сборки, разборки и испытаний;
- возможность отказаться от изготовления технологического макета КА, заменив его двумя – тремя стендами малых размеров;
- возможность гибко изменять конструкцию, добавлять и убирать бортовую аппаратуру без существенных изменений конструкции КА;
- существенная экономия массы КА по сравнению с вариантом с гермоконтейнером;
- возможность внешней установки аккумуляторных батарей с целью их автономной транспортировки.

После детальной проработки компоновки выявились следующие недостатки:

- углепластовый каркас не может самостоятельно нести нагрузку, необходимо его подкрепление сотопанелями;
- сотопанели должны иметь каркас, для восприятия сдвиговых нагрузок;
- силовая схема КА замыкается на сотопанелях, что вкупе со сложно прогнозируемыми свойствами сотопанелей и невозможностью точного контроля механических свойств последних делает данную силовую схему неоптимальной;
- в качестве силового каркаса КА применяются разнородные материалы с разными коэффициентами линейного расширения (КЛТР), что может приводить к деформациям КА в процессе штатной работы;
- сложность обеспечения центровки;
- невозможность попутных запусков.

В связи с этим была предложена новая компоновка.

Силовая схема конструкции КА на основе сетчатой призмы

В качестве основного варианта предлагается компоновка на основе сетчатой восьмигранной призмы из углепластика с алюминиевыми шпангоутами (рис. 3). На рисунке изображен также конический сетчатый углепластиковый адаптер для закрепления КА на разгонном блоке ракетносителя.

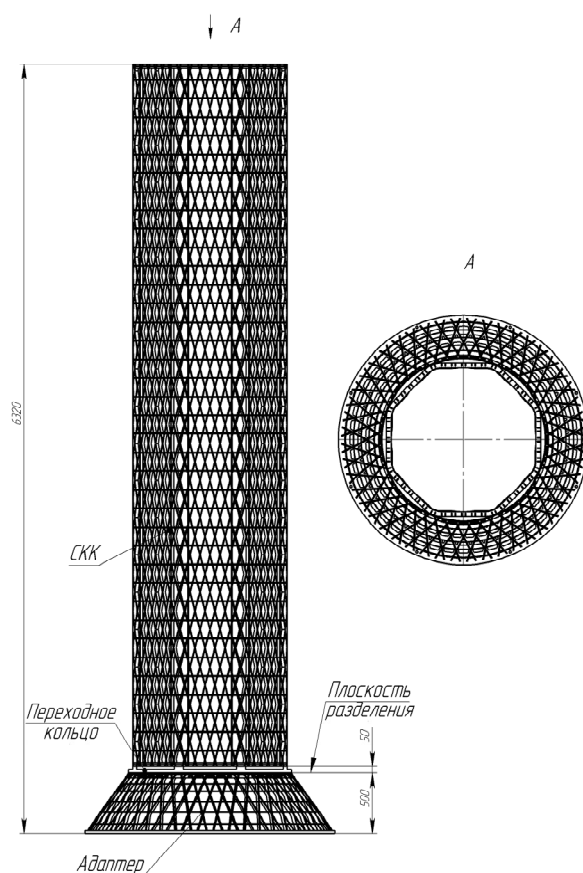


Рис.3 – Силовая сетчатая восьмигранная конструкция КА «Метеор-М» №3

Общий вид КА «Метеор-М» №3, соответствующий этой схеме, показан на рис.

4. На рисунке ось X направлена по вектору скорости орбитального движения, ось Z совпадает с местной вертикалью Земли и направлена в зенит, ось Y дополняет всю систему координат до правой.

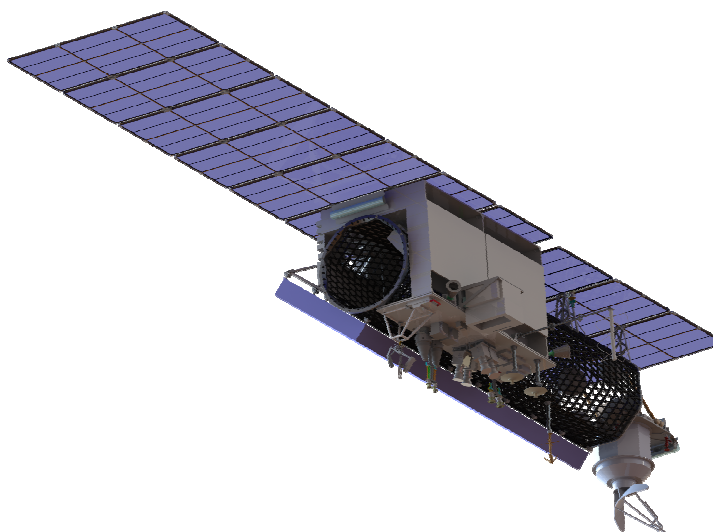


Рис.4 – Общий вид КА «Метеор-М» №3 на основе сетчатой призмы

На новой силовой конструкции корпуса размещаются солнечные панели (рис. 5), к которым прикрепляются служебные системы, платформа с аппаратурой полезной нагрузки, антенна АФАР и частично раскладываемая (после запуска) солнечная фотоэлектрическая батарея (часть секций солнечной батареи с самого начала жестко закреплена на корпусе КА, а часть разворачивается после выведения на орбиту). В таблице 3 представлены массо-инерционные характеристики компоновки на основе сетчатой призмы

Таблица 3

Масса, кг		2500±100
Моменты инерции КА после отделения от РБ, кг·м ²	I_x	2000
	I_y	11500
	I_z	12200
Моменты инерции КА при штатном раскрытии элементов конструкции, кг·м ²	I_x	2050
	I_y	14100
	I_z	14200

В кормовой части КА на торце силовой конструкции корпуса имеется откидная платформа с устанавливаемыми на ней скаттерометром, корректирующей двигательной установкой, некоторыми служебными блоками и АФУ. На этапе выведения БФ и откидная платформа сложены и зачекованы на корпусе КА.

Внутренняя часть силовой конструкции объемом 6,6 м³ можно использовать для размещения малых КА для попутного запуска.

При возникновении необходимости размещения дополнительной бортовой аппаратуры на силовой конструкции можно установить дополнительные сотопанели.

Описанная конструктивно-компоновочная схема горизонтального типа соответствует перечисленным выше базовым решениям проектирования новых космических платформ, относящимся к выбору конструкции.

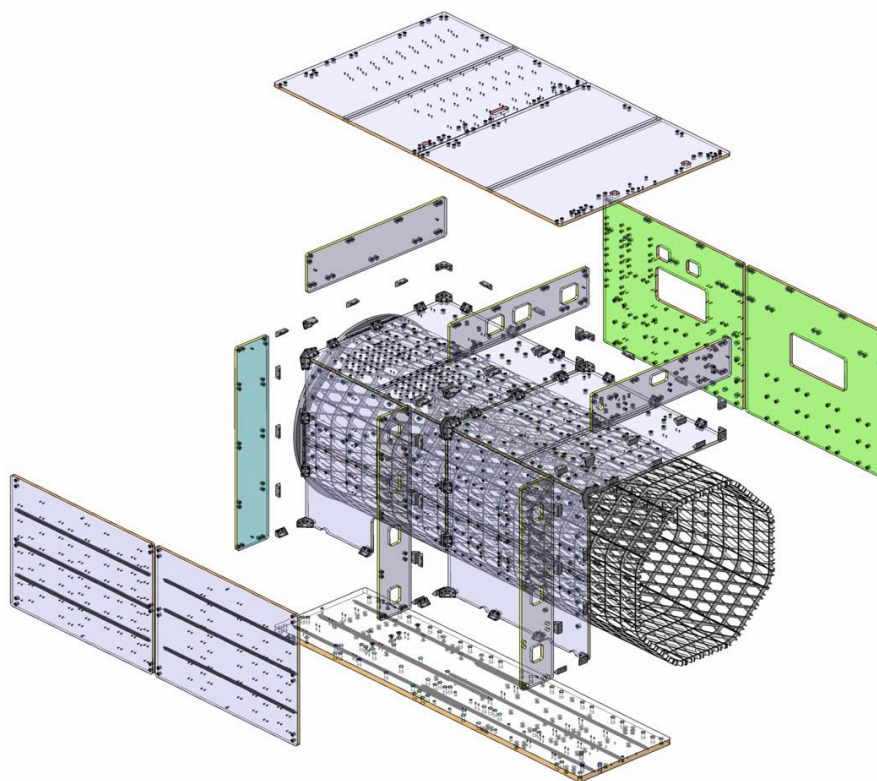


Рис.6 – Схема расположения сотовых панелей на сетчатой призме

Предлагаемая компоновка имеет следующие преимущества:

- силовая конструкция является основным несущим элементом конструкции КА, сотопанели не входят в силовую схему КА;
- компоновка позволяет обеспечить размещение центра масс КА в трубке 20 мм;
- размеростабильный корпус КА позволяет отказаться от сложных компенсационных узлов для крепления АФАР;
- простой доступ к бортовой аппаратуре при сборке, электромонтаже и испытаниях;
- возможность гибко изменять конструкцию, добавлять и убирать бортовую аппаратуру без существенных изменений конструкции КА;
- возможность быстрой установки/снятия аккумуляторных батарей с целью их автономной транспортировки;
- возможность установить во внутреннем пространстве силовой конструкции малых КА для их попутного запуска;
- сотопанели имеют меньшие размеры, а также нет необходимости в силовом каркасе сотопанелей.

Недостатками предлагаемой компоновки являются:

- момент инерции вокруг оси X выше, чем у предыдущего варианта;
- невозможность сборки бортовой аппаратуры на сотопанелях автономно от остальной конструкции КА (сначала на силовую конструкцию должны быть установлены сотопанели, только после этого производится монтаж аппаратуры);

- несколько более сложная конфигурация тепловых труб;
- необходимость переходного кольца для крепления силовой конструкции на адаптере для увеличения жесткости стыка.

Расчет жесткости силовых элементов конструкции

В соответствии с общими техническими условиями применения комплекса ракеты-носителя 14К35 для разнесения собственных частот основных тонов колебаний конструкции РН с полезным грузом рекомендуется осуществлять проектирование полезного груза с конструкционной жесткостью, которая обеспечит:

- основную частоту в поперечном направлении не ниже 10 Гц;
- основную частоту в направлении продольной оси РН не ниже 25 Гц.

Возможность снижения требуемой частоты полезного груза в поперечном направлении может быть рассмотрена при проведении совместного анализа по фактическим массовым и жесткостным характеристикам.

По результатам конечноэлементного анализа получены результаты, показанные на рисунке 6.

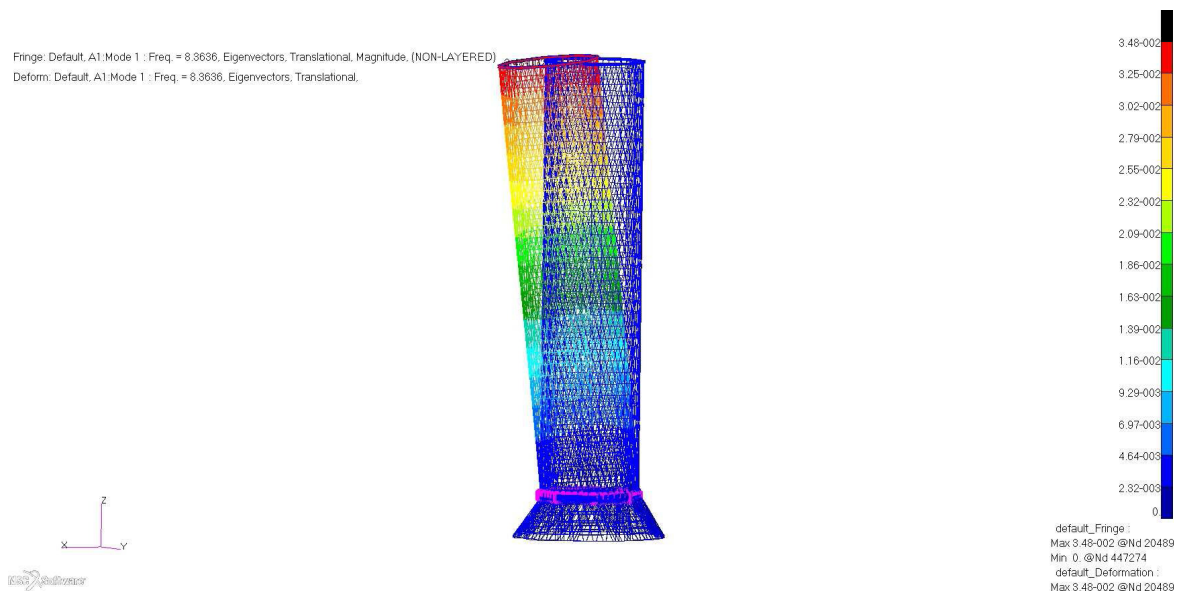


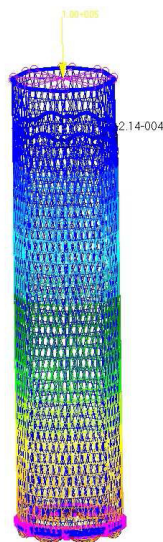
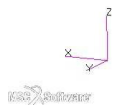
Рис.6 - Первая собственная частота

Основная частота в поперечном направлении составляет 8,36 Гц, основная частота в продольном направлении более 30 Гц. Полученные результаты объясняются главным образом большими габаритами КА, а также большим расстоянием до центра масс КА от плоскости стыка с разгонным блоком Фрегат (РБФ).

Для сравнения основная частота в поперечном направлении КА «Метеор-М» №2 на адаптере системы отделения составляет около 7,5 Гц.

Расчетные значения перемещений силовой конструкции под действием продольной и поперечной нагрузок приведены на рисунках 7 и 8.

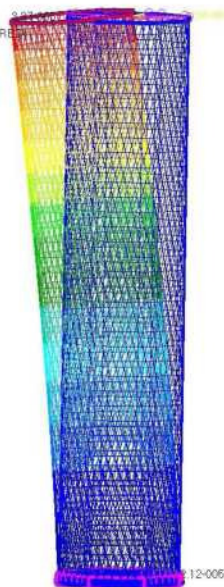
Fringe: Default, A1:Static Subcase, Displacements, Translational, Z Component, (NON-LAYERED)
Deform: Default, A1:Static Subcase, Displacements, Translational.



default_Fringe :
Max:3.87-007 @Nd 297336
Min:-2.14-004 @Nd 11509
default_Deformation :
Max:2.15-004 @Nd 11509

Рис.7 - Эпюра перемещений при продольной нагрузке 100000 Н

Fringe: Default, A1:Static Subcase, Displacements, Translational, X Component, (NON-LAYERED)
Deform: Default, A1:Static Subcase, Displacements, Translational.



default_Fringe
Max:3.87-003 @Nd 11509
Min:-2.12-005 @Nd 11509
default_Deformation
Max:3.89-003 @Nd 11509

Рис.8 - Эпюра перемещений при поперечной нагрузке 20000 Н, приложенной к верхнему шпангоуту

Заключение

Разрабатываемая космическая платформа для перспективного океанографического спутника «Метеор-М» №3 проектируется с учетом

современных тенденций и большого опыта и задела ОАО «Корпорация «ВНИИЭМ», накопленного за многолетний период создания и эксплуатации КА серии «Метеор».

В соответствии с техническим заданием основное назначение этого КА – всепогодный и независимый от освещенности радиолокационный мониторинг с использованием БРЛК с АФАР. Установка такой крупной и энергоемкой целевой аппаратуры накладывает определенные ограничения на выбор компоновки КА: обеспечение резонансных частот КА на системе отделения 12 Гц, обеспечение центровки КА.

Учитывая отмеченные выше обстоятельства, для КП утверждена горизонтальная конструктивно-компоновочная схема на основе восьмигранной углепластиковой призмы.

Заложенные в данную платформу требования и реализуемые технические решения делают ее унифицированной. На ее основе возможно создание также и перспективных космических аппаратов гидрометеорологического назначения и различных КА всепогодного наблюдения типа «Метеор-МП». Таким образом, эта космическая платформа должна стать базовой для разработки очередного поколения спутников дистанционного зондирования Земли в ОАО «Корпорация «ВНИИЭМ».

Библиографический список

1. Е.М. Сузюмов, М.И. Ципоруха «Открывая тайны океана» Онлайн библиотека PLAM.RU http://www.plam.ru/biolog/otkryvaja_tainy_okeana/index.php (дата обращения 05.09.2013).

2. Е.А. Балдина, Е.Р. Чалова «Исследование Мирового океана средствами дистанционного зондирования». Материалы седьмого интернет-семинара «Космические исследования океана», подготовленного Межуниверситетским аэрокосмическим центром совместно с Институтом океанологии им. П.П. Ширшова РАН http://www.geogr.msu.ru/science/aero/center/int_sem7/sem7_1.htm (дата обращения 05.09.2013).

3. А.В. Горбунов, А.Л. Чуркин, Д.А. Павлов «Космический комплекс гидрометеорологического и океанографического обеспечения «Метеор-3М» с космическим аппаратом «Метеор-М». // «Труды ВНИИЭМ. Вопросы электромеханики», том 105, И: ОАО «Корпорация «ВНИИЭМ», 2008, с.17-28.