

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Политехнический институт

институт

Межинститутская базовая кафедра

«Прикладная физика и космические технологии»

кафедра

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

В.Е. Косенко

подпись

инициалы, фамилия

« _____ » _____ 2023г.

ЗАДАНИЕ
НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ
в форме магистерской диссертации

Красноярск 2023

Студенту: Миронов Сергей Николаевич.

Группа: МТ21-04М.

Направление: 15.04.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств».

Тема магистерской диссертации (МД): «Разработка силовой конструкции системы обезвешивания антенн космических аппаратов для наземных испытаний».

Утверждено приказом по университету от 20.03.2023г № 4538/с

Руководитель МД: Александр Константинович Шатров, д-р. техн. наук, профессор, профессор МБК «Прикладная физика и космические технологии»

Исходные данные для ВКР.

1 Анализ существующих технологий, систем обезвешивания.

2 Поставленная задача для разработки новой системы обезвешивания

Перечень разделов МД.

1 Анализ существующих систем обезвешивания.

2 Рассмотрение новой разработанной системы обезвешивания

3 Проведение механических испытаний силовой конструкции.

Перечень графического материала представлен в виде слайдов презентации в количестве 16 штук.

Руководитель ВКР

подпись

А.К. Шатров

инициалы и фамилия

Задание принял к исполнению

подпись

С.Н. Миронов

инициалы и фамилия

«05» сентября 2022 г.

РЕФЕРАТ

Магистерская диссертация на тему: «Разработка силовой конструкции системы обезвешивания антенн космических аппаратов для наземных испытаний» содержит 72 страницы текстового документа, 5 таблиц, 37 иллюстраций и 18 использованных источников.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС; ТРАНСПОРТИРОВАНИЕ; КАНТОВАНИЕ; ПРОЦЕСС СБОРКИ, ИСПЫТАНИЯ; МОНТАЖНО-ИСПЫТАТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС; ПЕРЕМЕЩЕНИЕ ГРУЗОВ.

Объектом исследования является силовая конструкция системы обезвешивания антенн.

Цель данной работы состоит в разработке новой силовой конструкции для системы обезвешивания антенн космических аппаратов.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- рассмотрение существующих технологий обезвешивания антенн в процессе высокочастотных испытаний;
- разработка силовой конструкции системы обезвешивания отвечающей заданным требованиям;
- проведение эксперимента на механические нагрузки силовой конструкции методом моделирования с применением ПК.

Тема работы носит актуальный характер для производства современных космических аппаратов. Новые требования предъявляемые к испытаниям космических аппаратов нуждаются в новых решениях и новых подходах с применением новых технологий.

Разработанная конструкция системы обезвешивания позволит проводить испытания на более высоком уровне что в дальнейшем скажется положительным образом на качестве космического аппарата.

В ходе написания диссертации была собрана и обработана основная информация, имеющаяся на предприятии относящаяся к выбранной теме. А также проведен анализ теоретических материалов изложенных в технической документации данной области.

В первом разделе проведен сбор и систематизация информации о фактической ситуации. Рассмотрены виды испытания, состав и основные системы космического аппарата, а также виды систем обезвешивания.

Во втором разделе рассмотрена новая система обезвешивания её технические характеристики и система управления.

В третьем разделе представлен механический анализ конструкции системы обезвешивания, исходные данные и результаты расчета.

В заключительной части моей диссертации представлены итоги работы и поставленная цель, по обезвешиванию антенн с новыми требованиями, выполнена.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	7
1 Состав космического аппарата. Производство и испытания космического аппарата.....	10
1.1 Назначение космического аппарата.....	10
1.2 Конструкция космического аппарата. Состав космического аппарата...	10
1.3 Стадии сборочного процесса. Технологические схемы сборки.....	16
1.4 Схема прохождения изделия по операциям.....	17
1.5. Производственные и испытательные участки предприятия.....	19
2 Разновидности испытаний с применением систем обезвешивания.....	28
2.1 Испытание раскрываемых конструкций на соответствие характеристикам.....	28
2.2 Испытания на внешние воздействия.....	31
2.3 Испытания рефлектора на развертывание.....	32
3 Виды систем обезвешивания.....	35
4 Вывод по первым трем разделам.....	39
5 Система компенсации весовой составляющей.....	40
5.1 Технические данные система компенсации весовой составляющей.....	41
5.2 Описание управляющих элементов системы компенсации весовой составляющей штанг антенн.....	42
5.3 Стартовый экран системы компенсации весовой составляющей штанг антенн.....	44
5.4 Разграничение доступа.....	49
5.5 Экран режима компенсации.....	51
5.6 Экран сообщений.....	56
5.7 Экран параметры.....	57
5.8 Подготовка к работе.....	58
5.9 Порядок подготовки. Общие требования.....	58
5.10 Порядок установки нуля отклонения подвеса по оси X и оси Y.....	59
5.11 Порядок установки нуля показаний веса.....	60
5.12 Калибровка положения каретки и лебедки.....	60
5.13 Порядок присоединения подвеса к штанге антенны.....	60
5.14 Описание хода работы с системой компенсации весовой составляющей штанг антенн.....	61

5.14.1 Компенсация весовой составляющей при горизонтальной раскладке.....	61
5.14.2 Компенсация весовой составляющей при вертикальной раскладке.....	62
5.14.3 Завершение работы с системой компенсации весовой составляющей штанг антенн.....	62
6 Механический анализ конструкции системы обезвешивания	64
6.1 Теоретические сведения для расчета прочности	64
6.2 Исходные данные для расчета	64
6.3 Описание конечно-элементной модели	66
6.4 Результат расчета	69
7 Вывод.....	72
Список сокращений	73
Список использованных источников	75

ВВЕДЕНИЕ

Производство космических кораблей и спутников бесспорно является наукоемкой отраслью. Прежде чем вывести космический аппарат на орбиту необходимо провести ряд испытаний с целью выявления их недостатков и дефектов производства. Такими испытаниями являются имитационное, физическое и математическое моделирование. Процесс физического моделирования должен отвечать условиям, которые максимально приближены к реальным. К таким условиям относится невесомость. Имитация невесомости является одной из главных задач, для решения которой применяют системы обезвешивания. Используемые на данный момент средства имитации невесомости на Земле, такие как самолёты – лаборатории, бассейны нейтральной плавучести не позволяют в полной мере решать задачи обезвешивания элементов трансформируемых механических частей космических аппаратов. В настоящее время в Российской Федерации на предприятиях Роскосмоса имеются стенды обезвешивания, предназначенные для отработки процесса раскрытия рефлекторов антенн и крыльев батарей (КБС) космических аппаратов, работающие в пассивном, пассивно-активном либо в активном режиме. Под обезвешиванием понимается процесс, который обеспечивает приближение испытаний раскрытия трансформируемых механических устройств космических аппаратов в земных условиях к условиям невесомости. В задаче обезвешивания крыльев солнечных батарей и рефлекторов антенн космических аппаратов заинтересованы такие предприятия как: АО «Информационные спутниковые системы им. М.Ф. Решетнева» (г. Железногорск Красноярского края), НПО им. С.А. Лавочкина и другие организации Роскосмоса.

Испытаниям механизмов раскрытия перед полетом должно быть уделено особое внимание. Многочисленных отказов в полете удастся избежать за счет обнаружения возможных отказов во время наземных испытаний. Раскрываемый летный узел должен пройти проверку, не имеет смысла экономить деньги на испытаниях, чтобы затем получить сбой в работе космического аппарата на орбите. Стандартные правила определения объема испытаний, необходимого для механизма раскрытия, определяются на проектных стадиях разработки. Данный подход к верификации летной конструкции был разработан на основании существующего опыта, и хотя он настоятельно рекомендуется для всей конструкции, он является абсолютно необходимым для раскрываемых систем.

Испытания механизмов раскрытия представляют собой уникальный метод для конструкций, которые не являются устойчивыми, но по тем же причинам эти испытания необходимы, потому что большое количество вопросов, относящихся к правильному функционированию раскрываемых систем, не может быть полностью решено при помощи только аналитического метода.

Целью испытаний является:

- подтверждение правильности заложенных конструктивных решений;
 - подтверждение прочности несущих элементов конструкции;
 - подтверждение работоспособности механических устройств (МУ) в условиях, приближенных к эксплуатационным;
 - подтверждение влияния воздействия факторов нагружения на функционирование МУ;
 - выявление возможных конструктивных и технологических дефектов;
 - определение усилия срабатывания замков зачековки;
 - определение усилия протяжки ттяг в боуденах;
 - определение моментов сопротивления в шарнирных устройствах механических устройств (ШУ МУ)
- определение запасов работоспособности.

В процессе наземной экспериментальной отработки механических устройств КА решаются следующие задачи:

- квалификация системы на соответствие системе нормативных требований по внешним воздействиям;
- подтверждение функционирования и работоспособности системы после внешних воздействий;
- выявление дефектов сборочных и монтажных операций;
- подтверждение устойчивости технологических процессов;

Выдача заключения о положительных результатах испытаний и допуск к последующему этапу.

Самой большой проблемой при испытании конструкции, которая не может поддерживать собственный вес в условиях земной гравитации, является проблема ее разгрузки во время раскрытия в конфигурации полного раскрытия. Даже если конструкция может поддерживать собственный вес, все же может оказаться необходимым разгрузить ее для более точной имитации условий космического пространства. Будет полезно проектировать ее с повышенным запасом прочности, чтобы конструкция была устойчивой, если полученный избыточный вес будет скомпенсирован существенной экономией массы в части крепежной оснастки и наземных такелажных работ. Однако во многих случаях раскрываемые конструкции нельзя изготовить настолько прочными.

Наиболее широко применяемым методом разгрузки раскрываемого механизма является система обезвешивания показанная на рисунке 1. Подразумевается, что во время раскрытия все части конструкции движутся известным образом в параллельных горизонтальных плоскостях. На конструкции необходимо предусмотреть места крепления тросов системы обезвешивания, а движение их должно быть плавным без приложения внешних усилий.

Система подвешивания включает в себя прямую балку с подвижными каретками, которая располагается непосредственно над конструкцией. Критичным моментом для тракта раскрытия является необходимость иметь малое трение и быть настроенным строго параллельно относительно раскрываемых конструкций, в противном случае могут возникнуть

значительные нежелательные механические напряжения. Более сложными системами обезвешивания являются такие, которые обеспечивают боковое движение в дополнение к линейному перемещению, а также системы, позволяющие раскрыть конструкцию до принятия круглой формы за счет радиального и кругового движения.

Конфигурация всех типов систем обезвешивания должна быть очень точно и грамотно разработана с целью обеспечить достаточное количество точек захвата для полной компенсации веса испытываемой конструкции. Если точек захвата недостаточно, гравитационные силы могут вызвать локальное перенапряжение конструкции; при этом будет уже неважно, как распределена поддерживающая система, сила тяжести всегда будет присутствовать и может вызвать смещение положения, усилий или напряжений.

Взаимная настройка оснастки и раскрываемой конструкции может оказаться критичной во всех случаях, но особенно при поддержке больших жестких конструкций, в которой могут возникнуть значительные механические напряжения.

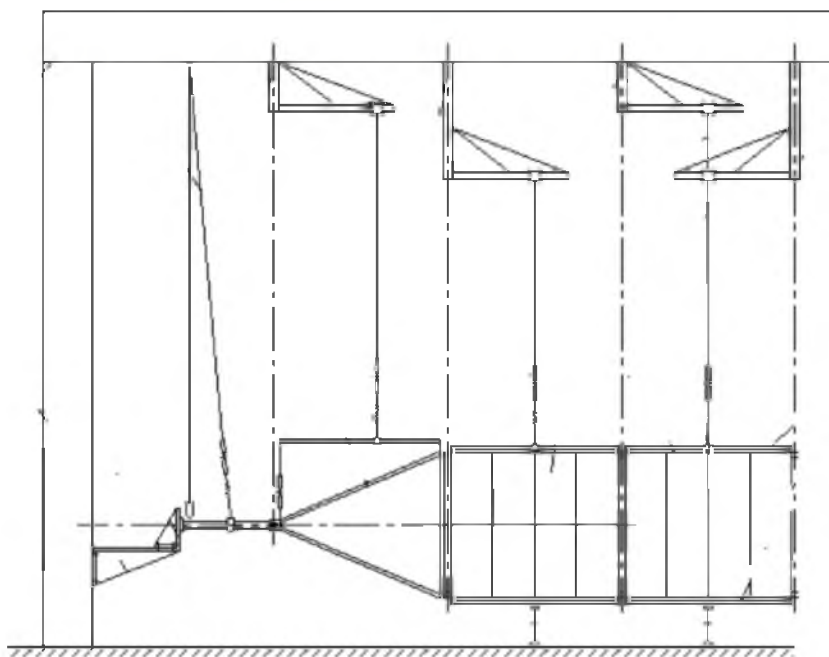


Рисунок 1 - Стенд имитации невесомости

1 Состав космического аппарата. Производство и испытания космического аппарата

1.1 Назначение космического аппарата

Развитие спутниковых систем связи в России идет в русле основных мировых тенденций. Меры, предпринимаемые в настоящее время на предприятии АО «ИСС», предусматривают использование перспективных мировых технологий и технических решений и позволяют рассчитывать на обеспечение высокого технологического уровня и эффективности перспективных отечественных космических аппаратах (КА).

Космический аппарат обеспечивает в составе многофункциональной космической системы ретрансляции информации непрерывный круглосуточный прием, обработку, усиление и передачу информации с целью контроля, управления и информационного обмена между низколетящими космическими объектами и объектами на поверхности Земли, ретрансляцию информации от наземных абонентов гидрометеорологической системы сбора и передачи данных.

При выполнении целевых задач КА необходимо обеспечить:

- проведение коррекций орбиты по долготе и широте для удержания КА в заданной точке стояния с помощью двигательной установки ориентации и коррекции, входящей в состав модуля служебных систем (МСС);
- непрерывную стабилизацию своих осей и ориентацию панелей батарей солнечных (БС) на Солнце с требуемой точностью с помощью системы ориентации и стабилизации, входящей в состав МСС;
- наведение с требуемой точностью антенн.

1.2 Конструкция космического аппарата. Состав космического аппарата

Выбирая основные системы КА и их функциональное назначение необходимо сразу учитывать то, для чего используется аппарат, его функциональное назначение, орбиту, на которой он функционирует, точку стояния и др., при этом примерно представляя образ его конструкции. При проектировании КА нужно придерживаться унификации модельного ряда. Желательно спроектировать аппарат так, чтобы его можно было применять и в других целевых назначениях.

Принципы построения КА, реализованные на предприятии, включают в себя разбиение КА на два модуля: модуль полезной нагрузки (МПН), который комплектуется исходя из требований заказчика, и модуль служебных систем (МСС), который, как правило, и подвергается унификации. Бортовая система, выполняющая целевую функцию проекта, является полезной нагрузкой.

Бортовые системы, обеспечивающие штатные условия для работы космического аппарата и выполнения целевой функции, являются служебными.

Исходя из назначения космического аппарата и выполняемых им функций, определяется состав, его бортовая аппаратура.

Системный состав будет следующий:

- модуль служебных систем (МСС);
- модуль полезной нагрузки (МПН);
- элементы КА.

В состав МСС входят:

- конструкция;
- бортовой комплекс управления (БКУ);
- система ориентации и стабилизации (СОС);
- система электропитания (СЭП);
- система коррекции (СК);
- система терморегулирования (СТР);
- антенно-фидерные устройства (АФУ) МСС;
- механические устройства батареи солнечной;
- бортовая кабельная сеть.

В состав МПН входят:

- конструкция МПН с элементами СТР;
- бортовой специальный комплекс (БСК), АФУ;
- бортовая аппаратура канала оперативного управления (БА КОУ);
- механические устройства (МУ);
- система наведения антенн;
- блок сетевых фильтров.

Элементы КА в составе:

- бортовая аппаратура радионавигации (БА АРН);
- бортовая аппаратура экспериментальной командно – измерительной системы (БА ЭКИС);
- переходная система (ПС);
- устройство отделения (УО);
- блоки защиты цепей питания.

Корпус МСС представляет собой пространственную конструкцию, состоящую из силовой конструкции корпуса (СКК) с закрепленными на ней трехслойными сотовыми панелями, соединенными между собой алюминиевыми кронштейнами и углепластиковыми уголками. На сотовых панелях размещается оборудование МСС, внутри СКК устанавливаются топливные баки.

МСС является конструктивно-силовой основой КА и предназначен для размещения аппаратуры КА и механических устройств, обеспечения механических интерфейсов с МПН и адаптера.

СКК представляет собой цилиндр анизотридной структуры из углепластика. По нижнему шпангоуту СКК осуществляется стыковка с ПС

посредством УО. По верхнему шпангоуту СКК осуществляется стыковка с панелью транспортировочной МПН. Общий вид конструкции модуля служебных систем представлен на рисунке 2.

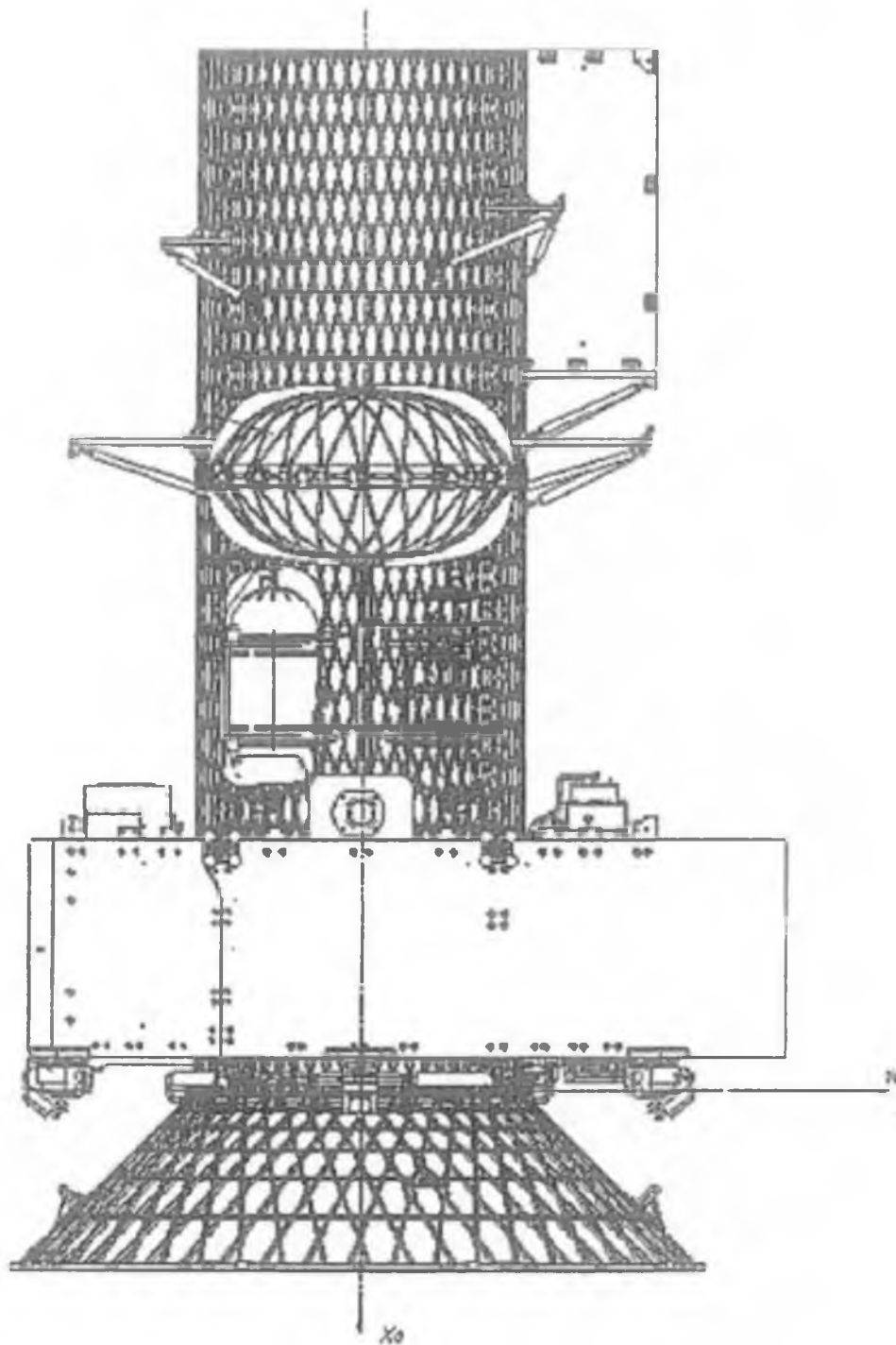


Рисунок 2 - Общий вид конструкции модуля служебных систем

Корпус модуля служебных систем представляет собой коробчатую структуру, состоящую из сотовых панелей, закрепленную на цилиндрической

силовой конструкции корпуса. Силовая конструкция корпуса служит силовой основой КА, к которой крепятся панели платформы и панели полезной нагрузки.

Силовая конструкция корпуса устанавливается на адаптер, стык между которыми является разъёмным. Крепление осуществляется с помощью двенадцати замков устройства отделения, расположенных равномерно по нижнему шпангоуту силовой конструкции корпуса.

Сотовые панели представляют собой трехслойную конструкцию. Несущие слои панели выполнены из алюминиевого сплава и углепластика, внутренний слой панели — сотозаполнитель. Наружные несущие слои соединены с сотовым заполнителем при помощи клеевой пленки.

Конструкция МПН предназначена:

- для размещения и обеспечения требуемого взаимоположения оборудования БСК на всех этапах наземной и летной эксплуатации КА;
- для обеспечения прочности изделия при заданных значениях уровней механических нагрузений на всех этапах изготовления, наземной и летной эксплуатации КА;
- для обеспечения необходимой температуры посадочных поверхностей для оборудования;
- для обеспечения интерфейсов с АФУ;
- для обеспечения интерфейсов с МСС;
- для защиты оборудования от ФКП.

Конструкция МПН крепится к СКК через переходные элементы (углепластиковые уголки, тяги).

Конструкция МПН представляет собой пространственный П-образный 2-х уровневый корпус из сотовых панелей, состыкованных с СКК при помощи углепластиковых уголков и титановых болтов. Между собой панели соединены кронштейнами. Антенные панели «±У», выполнены с применением обшивок из углепластика, устанавливаются по сторонам «Запад/Восток» и имеют интерфейсные точки закрепления к корпусу МПН и конструкции МСС.

Разделение уровней на верхний и нижний проходит по плоскости транспортировочной панели. В которой по всем уровням предусмотрен интерфейс с приборными панелями, опорными панелями, антенными панелями «±У», панелями жесткости и СКК.

Антенно – фидерная система МПН имеет состав:

- приемные антенны С/Ку, С/Ка, Ка, С/Ку, Ка – диапазона;
- приборы АФУ;
- волноводы;
- ВЧ кабели.

Расположение антенно – фидерной системы модуля полезной нагрузки показано на рисунке 3.

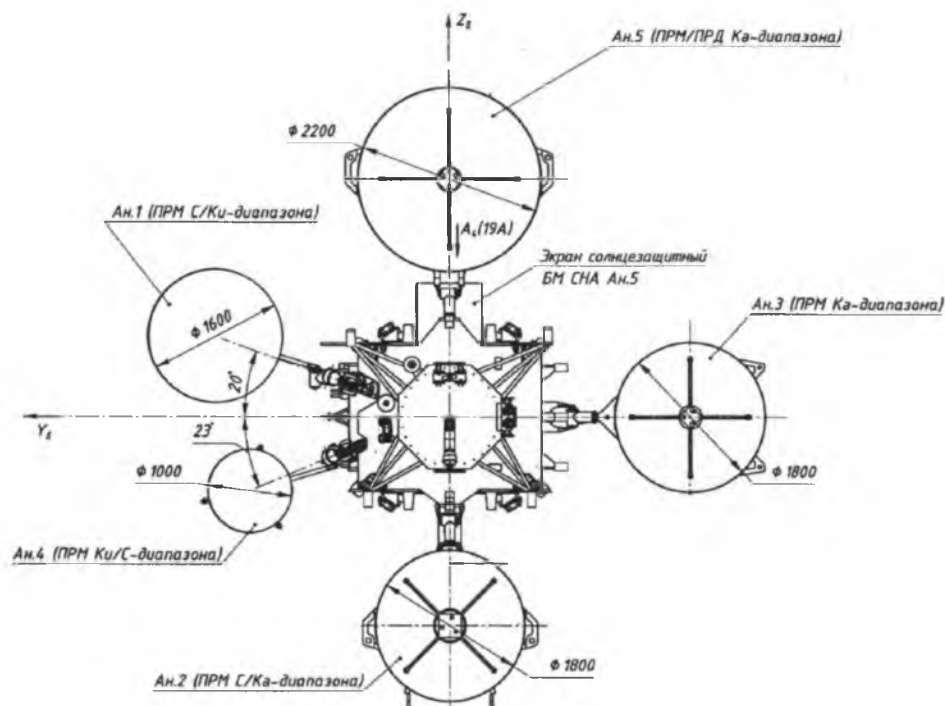


Рисунок 3 – Антенно – фидерная система модуля полезной нагрузки

Механические устройства МПН разделяют по назначению на:

- устройства зачековки, предназначенные для удержания рефлекторов антенн на корпусе КА, в стартовом положении на участке выведения, освобождения рефлекторов и антенн для приведения их в рабочее положение (замок – для удержания рефлекторов и антенн в транспортном положении, пирозузел – для удержания замков, с применением тяг, в транспортном положении, тяга – канат проложенный в оболочке);

- БМ СНА обеспечивающие положение рефлекторов и антенн в заданном диапазоне рабочих углов.

Переходная система (ПС) или адаптер представляет собой конус анизогридной структуры из углепластика. По нижнему шпангоуту ПС стыкуется с разгонным блоком. По верхнему шпангоуту ПС стыкуется с МСС посредством устройства отделения (УО). Адаптер представлен на рисунке 4.

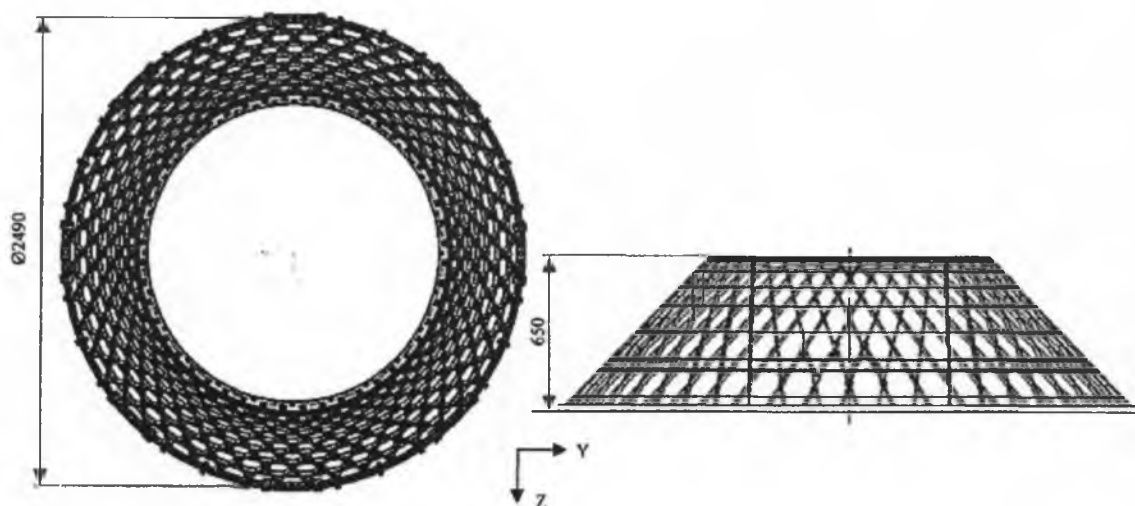
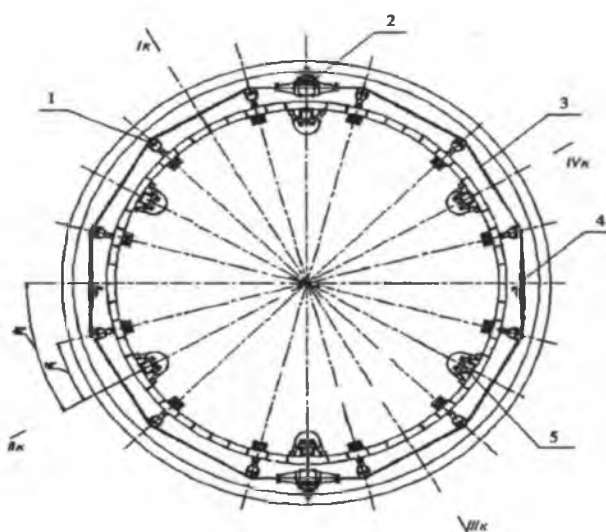


Рисунок 4 - Адаптер

Устройство отделения (УО) предназначено для закрепления КА на ПС и отделения КА от разгонного блока (РБ) с заданными параметрами по команде, поступающей от блока управления РБ.

УО включает в себя двенадцать механических рычажных замков, равномерно расположенных на шпангоутах. Исполнительные механизмы замков стянуты тросовым бандажом, в составе которого диаметрально противоположно смонтированы две пирочки и две стяжные муфты. С внутренней стороны шпангоута через кронштейны закреплены шесть сдвоенных пружин толкателей. УО представлено на рисунке 5.



1 – рычажный замок, 2 – пирочка, 3 – тросовый бандаж, 4 – стяжная муфта, 5 – пружина толкателя

Рисунок 5 – Устройство отделения

1.3 Стадии сборочного процесса. Технологические схемы сборки

Многие детали, перед тем как их направить на место сборки всего изделия, соединяют с другими деталями, при этом образуется узел. Узел может состояться или только из отдельных деталей, или из отдельных деталей и деталей, предварительно соединенных вместе. Такие предварительно соединенные детали образуют простейшее соединение, называемое «подузел». Соединение нескольких узлов составляет «механизм». Это соединение осуществляется или непосредственно деталями, входящими в узлы, или при помощи отдельных деталей, служащих для соединения узлов.

Из механизмов, узлов и отдельных деталей собирают целое изделие.

Каждое из указанных соединений представляет собой конструктивно – сборочную единицу той или иной степени сложности. При описанной выше последовательности соединений «подузел» представляет собой конструктивно – сборочную единицу первой степени сложности, «узел» - конструктивно – сборочную единицу второй степени и «механизм» - конструктивно – сборочную единицу третьей степени сложности. Целое изделие в зависимости от его сложности может быть расчленено на большее или меньшее количество конструктивно – сборочных единиц.

Сборочный процесс, таким образом, состоит из следующих стадий:

- слесарная обработка и пригонка (применяется преимущественно в единичном и мелкосерийном производствах);
- узловая (или предварительная) сборка – соединение деталей в подузлы, узлы, механизмы;
- общая (или окончательная) сборка – сборка всего изделия;
- регулировка – установка и выверка правильности взаимодействия частей изделия [3].

При расчленении конструкции изделия на отдельные сборочные единицы надо руководствоваться следующими основными положениями:

- выделение того или другого соединения в сборочную единицу должно быть возможным и целесообразным как в конструктивном, так и в технологическом отношении;
- должна быть обеспечена правильная технологическая связь и последовательность сборочных операций;
- на общую сборку должны подаваться в возможно большем количестве предварительно скомплектованные сборочные единицы и в возможно меньшем количестве – отдельные детали;
- общая сборка должна быть максимально освобождена от выполнения мелких сборочных соединений и различных вспомогательных работ.

Пропускная способность сборочного цеха зависит от времени нахождения изделия на сборочном месте (стенде): чем меньше это время, тем больше пропускная способность. Уменьшение времени пребывания изделия на сборочном месте (стенде) достигается:

- обработка деталей по принципу взаимозаменяемости, исключаяющей ручную слесарную обработку и подгонку размеров деталей по месту;
- применением в возможно большей степени предварительной сборки деталей в узлы, в агрегаты вне места общей сборки всего изделия;
- обеспечением во избежание простоя сборщиков своевременной подачи деталей, узлов и других сборочных соединений, материалов, инструментов и приспособлений к сборочному месту;
- возможно более широким применением специальных приспособлений и инструментов в целях уменьшения затрат времени на выполнение сборочных операций и облегчения работы;
- применением поточного метода сборки для уменьшения времени на сборку всего изделия, если это возможно по характеру производства.

Точно так же можно в значительной степени облегчить и ускорить выполнение сборочных операций с помощью специальных приспособлений: для установки и соединения деталей; для крепления базовых деталей собираемых узлов; для подъема деталей при сборке; для перемены положения собираемых изделий и т. д.

Необходимо также шире применять предварительную узловую сборку и подавать на общую сборку возможно меньшее количество отдельных деталей с целью сокращения времени на общую сборку на стенде.

1.4 Схема прохождения изделия по операциям

В настоящей работе показана схема прохождения изделия по операциям на базе платформы типа «Экспересс – 2000». Схема прохождения изделия по операциям показана в таблице 1.

Таблица 1 – Схема прохождения изделия по операциям

Операции	Место проведения операции
Входной контроль покупной аппаратуры	Цех 038
Работы с КБВД	Цех 037 Кор. 11, 21)
Сборка блока МСС	Цех 037 (кор. 11, 21)
Интеграционные и электрические испытания МСС	Цех 037 (кор. 11, 21)
Сборка МПН, монтаж приборов на МПН	Цех 037 (кор. 11, 21)
Проведение автономных испытаний МПН	Цех 038
Интеграция МПН и МСС	Цех 037 (кор. 21)
ЭИ КА перед испытаниями на внешние воздействия со снятыми антенными панелями	Цех 037 (кор.11), цех 038

Окончание таблицы 1

Операции	Место проведения операции
Установка антенных панелей	Цех 037 (кор. 21)
ЭИ КА перед испытаниями на внешние воздействия с установленными антенными панелями	Цех 038
ЭТВИ КА в ГВУ – 600	Цех 038
КЮР положения приборов СОС и антенн	Цех 037 (кор. 21)
Определение массы и положения центра масс КА	Цех 037 (кор. 11)
Монтаж двигательных блоков	Цех 037 (кор. 21)
Сборка изделия для виброиспытаний (навешивание крыльев БС)	Цех 037 (кор. 11)
Определение массы и положения центра масс КА в стартовом положении	Цех 037 (кор. 11)
Виброиспытания КА	Цех 038
Акустические испытания КА	Цех 038
Проверка раскрытия крыльев БС. Демонтаж крыльев БС	Цех 037 (кор. 11)
Проверка раскрытия антенн и КЮР антенн и проборов СО	Цех 037 (кор. 11, 21)
ЭИ КА после испытаний на внешние воздействия	Цех 038
ВЧИ КА	Цех 038
Прокрутка КА	Цех 037 (кор. 21)
Штатная заправка СТР КА	Цех 037 (кор. 11)
Заключительные проверки	Цех 038
Окончательная установка крыльев БС	Цех 037 (кор. 11)
Операции по перегрузке и транспортированию	Цех 037 (кор. 21)

Из таблицы мы видим, что все необходимые операции проводятся в разных цехах и корпусах зданий. Лабораторные и эксплуатационные испытания предусматривают проверку законченных наиболее ответственных объектов, а также отдельных узлов в соответствии с ТУ в лабораторных и эксплуатационных условиях. Измерение параметров и размеров производится замером абсолютных значений различными универсальными инструментами и приборами, и специальными мерительными средствами, и аппаратурой.

Силовой элемент конструкции под воздействием нагрузок, возникающих в процессе эксплуатации, может разрушиться, что, в свою очередь, может привести к катастрофе.

1.5. Производственные и испытательные участки предприятия

В изготовлении космического аппарата необходимо учитывать основные взаимосвязанные этапы:

- проектирование КА;
- разработка опытных образцов изделия;
- наземная экспериментальная отработка отдельных агрегатов, систем и космического аппарата в целом;
- производство штатного космического аппарата;
- лётные испытания космического аппарата.

При испытаниях космического аппарата и его составных частей необходимо учитывать условия и место проведения испытаний. Испытания делятся на следующие виды:

- лабораторные, с использованием предметно – математических моделей;
- стендовые;
- полигонные;
- эксплуатационные.

Лабораторные испытания – испытания, проводимые в лабораторных условиях. Объектами испытаний в лабораторных условиях могут быть объекты таких уровней - такие как материалы, элементы, узлы, приборы.

Стендовые испытания – испытание изделия на испытательном оборудовании, представляющем собой технические устройства, имитирующие физические воздействия, которым подвергается космический аппарат в натуральных условиях.

Полигонные испытания - испытания изделия, проводимые на полигоне.

Эксплуатационные испытания – испытания изделия в условиях его штатной эксплуатации.

Существуют также типы испытаний, классификация которых осуществлялась по их характерным признакам, относящиеся к сложным объектам, так как к космическому аппарату в целом или его отдельным фрагментам, системам. Автономные испытания, комплексные испытания, испытания в условиях имитации нештатных аварийных ситуаций. Автономными испытаниям подвергаются отдельные части или системы КА.

Комплексные испытания проводятся для группы непосредственно связанных систем космического аппарата. Также для всего космического аппарата с целью проверки нормального функционирования систем изделия после проведения монтажно-сборочных работ.

Технология механических испытаний космического аппарата включают в себя статические испытания (СТИ), динамические испытания, акустические испытания. Этим испытаниям подвергаются силовые несущие элементы изделия: ферменные конструкции, рамы, агрегаты, корпуса отсеков. Целью механических испытаний является определение устойчивости космического аппарата к воздействию вибрационных, ударных и центробежных нагрузок.

Динамические испытания КА на прочность проводятся для того, чтобы проверить как космический аппарат будет подтвержден вибрационным, ударным и линейным перегрузкам, характерным при эксплуатационных условиях. Для создания вибрационных нагрузок применяют специальные вибростенды, которые позволяют проводить испытания в режимах случайной и синусоидальной вибраций.

Электродинамические возбудители (ЭДВ) широко применяют для вибрационных испытаний различных космических аппаратах. С их помощью испытывают образцы материалов, детали, трубопроводы, узлы исполнительной автоматики, приборы, агрегаты КА.

Как правило, реальные вибрационные процессы имеют случайный характер. Поэтому имитацию воздействия на КА линейных перегрузок осуществляют на центробежных стендах. Результатом данных испытаний является информация о прочностных характеристиках

Акустические испытания. Актуальность проблемы акустической прочности конструкций современных КА резко возросла. В первую очередь это относится к КА, оборудование которых вынесено за пределы герметичного корпуса и воспринимает воздействие акустического давления непосредственно.

Особенностью нагружения КА является то, что «критическим» уровням акустических давлений подвергается большая часть поверхности корпуса, трубопроводов и вся поверхность конструкции навесного оборудования (антенны, оптические приборы наведения, солнечные и аккумуляторные батареи, электронные блоки ретранслятора и т.д.).

На рисунке 6 изображен космический аппарат в акустической камере.

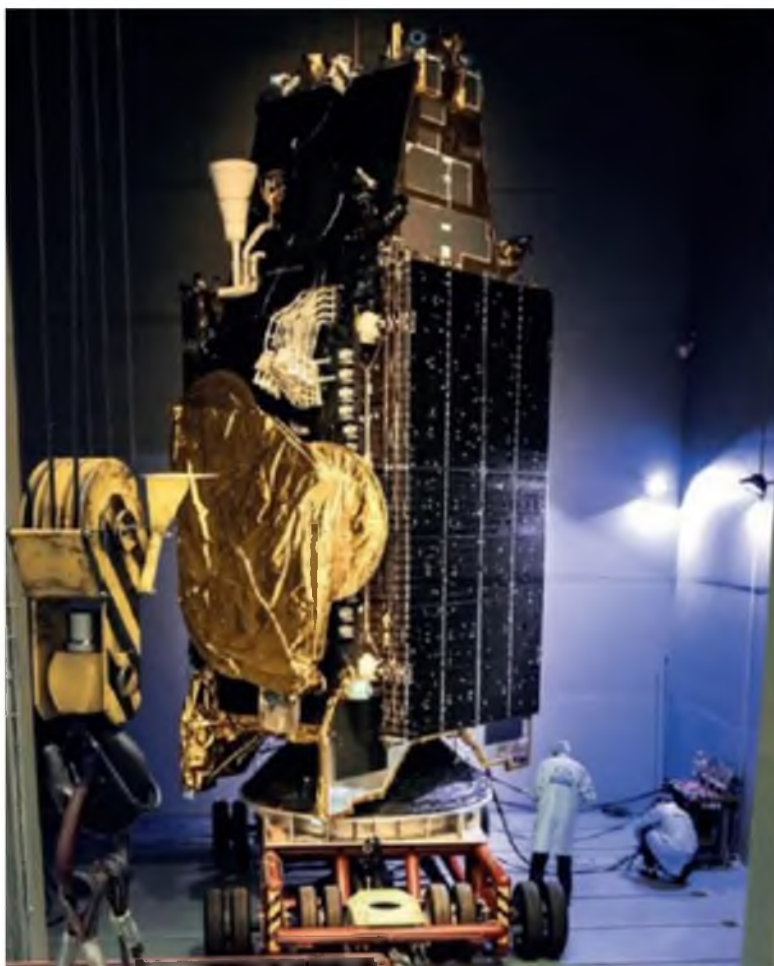


Рисунок 6 – Космический аппарат в акустической камере

Реверберационные камеры, типом акустической испытательной установки является большая комната (камера), которая обладает внутренними поверхностями с низким акустическим поглощением. В такой камере большой процент акустической энергии, падающей на данную поверхность, отражается от нее. Возникающее реверберационное (диффузное) акустическое поле имеет одинаковую плотность энергии по объему, и все направления ее распространения равновероятны.

В качестве примера можно привести реверберационную камеру ОАО «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнева. Камера выполнена в форме параллелепипеда с размерами его ребер $11,0 * 6,94 * 8,7$ м. Объем составляет 664 м³, что позволяет проводить испытания в диффузном поле КА объемом до 60...100 м³. Создаваемая акустическая мощность составляет около 80 кВт и обеспечивает уровень звукового давления до 150 дБ.

В камере установлены экспоненциальные рупоры, позволяющие эффективно излучать звуковые колебания в случайном спектре частот.

Данная камера позволяет проводить акустические испытания в широком спектре частот, соответствующих эксплуатационным.

Тепловакуумные испытания (ТВИ) представляют собой один из важнейших видов испытаний КА связи, создаваемых ОАО «Информационные спутниковые системы» имени академика М.Ф. Решетнева».

На рисунке 7 космический аппарат установлен в термовакуумную камеру.

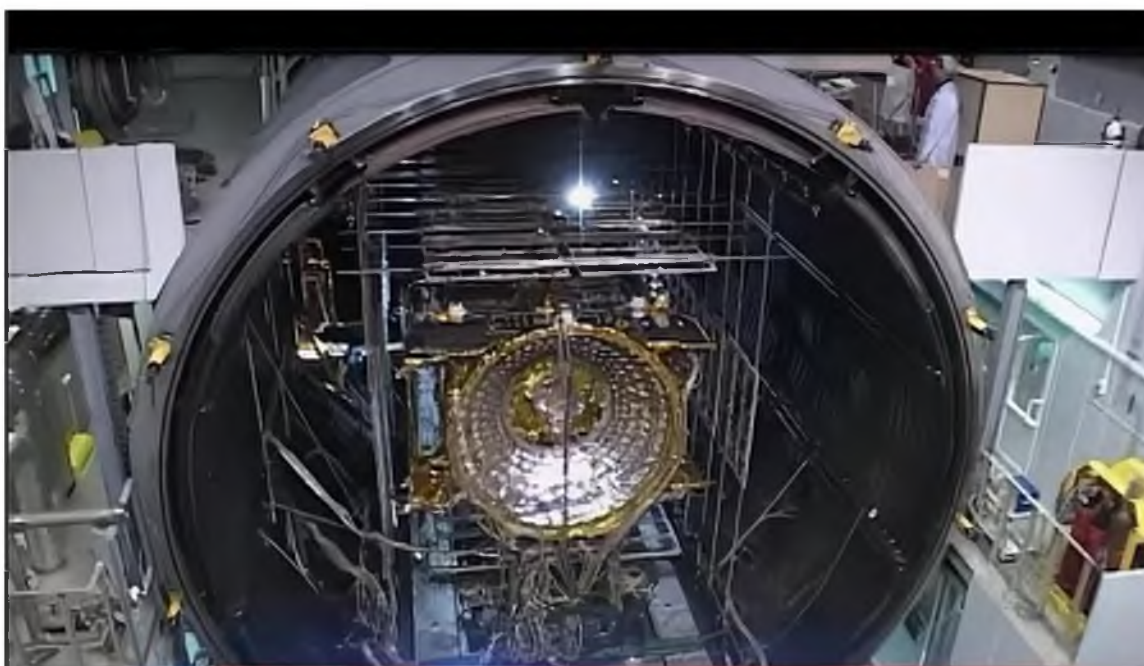


Рисунок 7 – Космический аппарат в термовакуумной камере

Термовакуумные испытания проводят для исследования работоспособности электронных систем (ЭС) в зависимости от их теплового режима в условиях космоса. Для обеспечения теплового режима ЭС в лабораторных условиях достаточно воспроизвести основные факторы космического пространства, а именно:

- глубокий вакуум;
- солнечное излучение, излучения планет солнечной системы;
- «холод» и «черноту» пространства за пределами телесных углов, занимаемых Солнцем и рассматриваемой планетой.

Важное место в наземной отработке космических аппаратов занимает изучение их теплового режима. Жесткие весовые и энергетические ограничения заставляют конструкторов создавать системы терморегулирования без существенных запасов хладона или теплопроизводительности.

Электрические испытания проходят на этапе окончательной сборки космического аппарата. В рамках отработки проводятся проверка работы бортовой аппаратуры и всех систем. По мимо это электрические испытания космического аппарата проводятся при сборке модуля служебных систем, модуля полезной нагрузки, до испытания на механические воздействия, а также после проведения испытаний на механические воздействия. Электрические испытания бортовой аппаратуры и изделия в целом проводятся как на

расстыкованном, так и на состыкованном изделии (космические аппараты не герметичного исполнения, отдельно МСС и МПН).

На рисунке 8 представлен космический аппарат на рабочем месте электрических испытаний в безэховой камере.

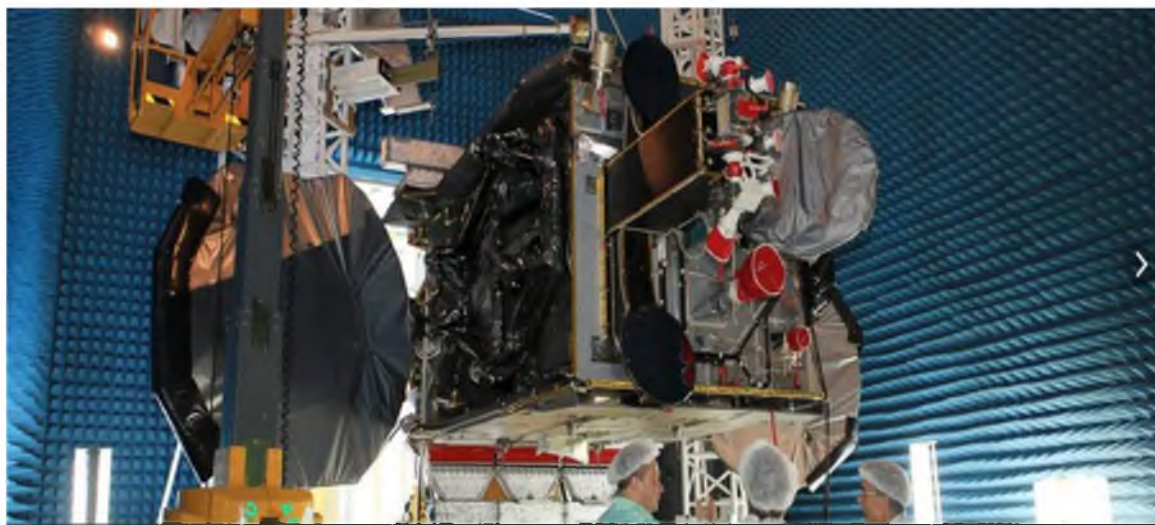


Рисунок 8 - Космический аппарат на рабочем месте электрических испытаний в безэховой камере

Экспериментальные (испытательные) участки АО «Решетнев» позволяет проводить все виды наземной экспериментальной отработки космических аппаратов и их составных частей. Многоступенчатая наземная экспериментальная отработка, в ходе которой проверяется функционирование сначала отдельных приборов, деталей и узлов, затем систем, а в конечном итоге и собранных спутников, служит гарантией высокой надежности выпускаемой продукции длительного срока ее эксплуатации.

Полный комплекс испытаний космических аппаратов обеспечивается с помощью высокотехнологичного оборудования, такого как:

- криогенно-вакуумные установки (объемом 400 и 120 м³) и горизонтальная вакуумная установка (объемом 600 м³, 60 м³) для проведения тепловacuумных и термобалансных испытаний, огневые испытания ксеноновых двигателей коррекции;

- вибрационные стенды для имитации вибрационных нагрузок, которые воздействуют на космический аппарат во время запуска (мощность воздействия от 1,5 до 25 т, одновременная регистрация вибрационных ускорений до 256 каналов, масса объекта испытаний до 8 т);

- акустическая камера для проведения испытаний на звуковые нагрузки (объем камеры — 664 м³, мощность акустического воздействия — до 154 дБ, автоматическая цифровая система управления — 6 управляющих микрофонов, количество одновременной регистрации виброускорений — до 128);

- стенд транспортировочных испытаний для отработки конструкции космического аппарата на воздействие нагрузок в ходе транспортирования к

месту запуска (синусоидальная и случайная вибрация, многократные удары в 3 направлениях, все виды транспортных нагрузок (авиационные, железнодорожные, автомобильные);

- электродинамических стендов и стенда со свободно падающей платформой с ускорениями до 5000 g (ударные испытания);

- сервогидравлический стенд, силовая стена высотой 12 м; (статические испытания);

- система определения модальных характеристик механических систем;

- стенд имитации невесомости для проверки раскрытия трансформируемых систем спутника;

- стенд электрических испытаний для подтверждения исправности оборудования космического аппарата;

- безэховая камера для испытаний электрорадиотехнического оборудования спутника на электромагнитную совместимость.

Производственный участок ОА «Решетнев». Благодаря современной производственной базе, рассчитанной на комплексное применение новейших технологий, АО «Решетнев» стоит в ряду лучших спутникостроительных предприятий мира. В компании осуществляется широкий спектр работ по механообработке, приборостроению, сборке космических аппаратов, нанесению гальвано-химических и лакокрасочных покрытий.

На производственных площадях предприятия функционирует более 1000 единиц специализированного и общемашиностроительного оборудования. Высокими темпами идет техническое перевооружение, что обеспечивает непрерывную модернизацию всех этапов создания космической техники. Значительная часть оборудования изготовлена специально по заказу АО «Решетнев».

Развитая производственная база предприятия является одним из важнейших факторов создания конкурентоспособной продукции и позволяет применять и развивать такие современные технологии спутникостроения, как:

- изготовление сотовых панелей с алюминиевыми и углепластиковыми обшивками;

- производство деталей из полимерных композиционных материалов;

- нанесение пленочных покрытий с оптическими и радиоотражающими свойствами магнетронным методом;

- разработка и производство трехмерной единой бортовой кабельной сети космических аппаратов; нанесение гальвано-химических и лакокрасочных покрытий; разработка и производство энергопреобразующих комплексов;

- создание систем терморегулирования на основе двухфазного контура для спутников с высокой энергетикой;

- крупногабаритные трансформируемые рефлектора;

- композитные рефлектора с контурной диаграммой направленности (трехслойные и монооболочечные);

- антенные блоки типа «Башня»;

- облучатели;
- изготовление волноводных трактов, волноводов дюймового и метрического сечений;
- различные электромеханические устройства, которые применяются во всех трансформируемых системах космических аппаратов.

Каждый проект АО «Решетнев» по разработке, изготовлению и поставке заказчику космического аппарата, конструкции или сложных трансформируемых систем и механизмов обеспечивается полным комплексом наземного вспомогательного оборудования собственной разработки и производства.

Отраслевой центр занимается проектированием и изготовлением следующего оборудования:

- средства динамических и статических испытаний квалификационных моделей космических аппаратов;
- оборудование имитации невесомости для проверки развертываемых конструкций космических аппаратов;
- транспортные контейнеры для космических аппаратов и их составных частей;
- грузоподъемное оборудование (траверсы и т.п.);
- оборудование для заправки космических аппаратов компонентами топлива;
- оборудование технического комплекса космодрома.

Неотъемлемой частью производственного цикла изготовления номенклатуры предприятия является изготовление и применение оснастки, разрабатываемой отделом по направлениям:

- подъемно-транспортное;
- пневмогидроиспытаний;
- сборно-сварочная оснастка;
- штампы, пресс-формы, инструмент.

Проектирование, изготовление, контроль и эксплуатация оборудования это комплекс работ связанный с непосредственным изготовлением деталей и изделия в целом по всей номенклатуре основного производства, выпускаемого АО «Решетнев».

Технологическая оснастка классифицирована по назначению и соответствию требованиям производства основной продукции:

- станочная оснастка;
- грузоподъемные механизмы;
- испытательные пневмо-гидравлические системы;
- универсально-сборочные приспособления;
- электрические пульты и технологические кабели
- штамповочная оснастка;
- прессформы;
- измерительный инструмент;

- режущий инструмент, резьбообразующий, резцы, фрезы;
- оснастка для динамических испытаний;
- лаз-шаблоны для изготовления сотовых конструкций.

Технологическое оснащение основного производства для перемещения в процессе технологического цикла изготовления и испытания изделия.

Для контроля требований качественного выпуска продукции, проверки на ее соответствие требованиям заказчика при изготовлении изделие проходит полный цикл натурных, электрических испытаний. Испытательная база территориально расположена не в одном производственном корпусе, а в нескольких, определенных по целевому назначению, таким образом, при проведении комплекса работ движение изделия (готовой продукции) по цепочке технологического и испытательного цикла осуществляется за счет межцехового транспортирования.

Номенклатура производства изделия для потребителя и его составных узлов настолько широка, что требует особого парка технологического оборудования, позволяющего осуществлять обеспечение перемещения для всего цикла изготовления:

- изготовление ДСЕ, испытание ДСЕ (контроль функционирования), транспортирование к месту дальнейших монтажно-сборочных работ для ДСЕ собственного изготовления;

- испытания изделия, транспортирование на технический комплекс (для подготовки к эксплуатации по назначению).

К этому парку оборудования относятся подъемно-транспортная технологическая оснастка (ПТТО).

ПТТО является любое приспособление, предназначенное для подъема, кантования и переноса изделий, узлов и деталей, закрепленных с помощью элементов своей конструкции одной частью за крюк подъемного крана или другого грузоподъемного механизма, а другой - за поднимаемый груз К ПТТО относятся:

- вспомогательные приспособления, предназначенные для подъема, кантования и переноса различных грузов, не имеющие строго оговоренной схемы нагружения в процессе работы;

- специальные.

Технологические приспособления, которые предназначены для подъема, кантования и переноса отдельных конструкций изделий, имеющих строго установленные схемы нагружения в процессе эксплуатации;

- унифицированные приспособления, которые предназначены для подъема, кантования и переноса различных грузов и имеющие строго определенные схемы нагружения в процессе эксплуатации;

- специальные приспособления, предназначенные для подъема людей;

- специальные стремянки при высоте не менее двух метров;

- тара многократного использования, предназначенная для подъема и транспортирования различных грузов в технологических целях;

- специальные элементы конструкций технологических приспособлений, предназначенные для их подъем, кантования и переноса;
- грузовые тележки всех типов;
- стеллажи, переходники, подставки;
- кантователи всех типов;
- стапели для сборки изделий.

ПТТО разрабатывается (проектируется) и изготавливается для подъема, кантования и перемещения в соответствии с грузоподъемностью, схемами работ, которые указаны в КД и отражены в заданиях на разработку ПТТО или применение ранее разработанного оборудования для конкретного изделия с доработкой или унификацией.

2 Разновидности испытаний с применением систем обезвешивания

2.1 Испытание раскрываемых конструкций на соответствие характеристикам

Эксплуатационные качества раскрываемых конструкций определяется следующими факторами:

- функциональными возможностями;
- настройкой
- жесткостью
- прочностью
- динамикой раскрытия.

Как правило, каждый из этих факторов может и должен быть верифицирован при наземных испытаниях до полета.

Функциональные испытания механизмов раскрытия имеют цель продемонстрировать то, что система может раскрываться (и в случае необходимости возвращаться в исходное состояние), и при этом будут выполняться такие заданные по спецификации параметры, как время раскрытия и движущий момент(усилие). В случае необходимости должны прикладываться внешние нагрузки для имитации условий на орбите, а также должна отслеживаться динамика раскрытия. Инерция, жесткость и влияние прикладываемых нагрузок обычно имитируется очень неплохо во время наземных испытаний, в отличие от воздействия демпфирования, которое очень сложно имитировать точно вследствие чувствительности к воздействию атмосферы, температуры и оснастки. Запас по движущему моменту (силе) верифицируется во время функциональных испытаний путем измерения избыточного момента в наихудшей точке во время раскрытия в соответствии с рисунком 9.

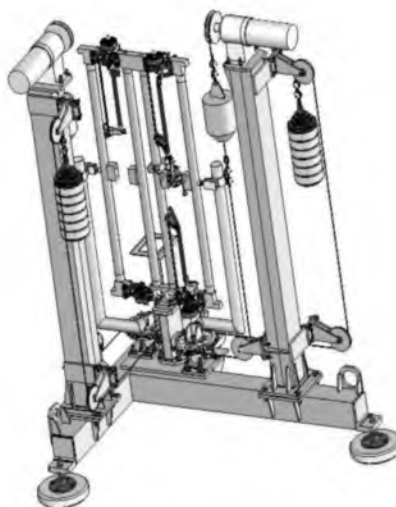


Рисунок 9 -Стенд для проверки функционирования и запасов работоспособности

Сразу же после раскрытия должны быть проверены все критичные настройки и допуски. Например, для штанги БС критичным параметром может оказаться крутящее вращение ее вершины, для многопанельных солнечных батарей критичной может быть настройка (юстировка) панелей. Критичные допуски также следует проверить на этом этапе, потому что отличие результатов измерений от прогнозов (в большую или меньшую сторону) может быть показателем того, что не все как следует понятно. Аналогично, после возвратного движения (складывания), также следует верифицировать допуски и настройки, которые могут потребоваться для повторной зачеховки замков. Количественные результаты, полученные при первых функциональных испытаниях, часто используются в качестве базовых для контроля работоспособности приспособления, поскольку последующие испытания отличаются повышенными требованиями. Как правило, требования по жесткости и (или) прочности являются самыми важными для раскрываемых систем и, следовательно, должны пройти верификацию во время испытаний. Жесткость проще всего измерить, нагрузив полностью. Раскрытую систему и определить результирующие смещения в соответствии с рисунком 10.

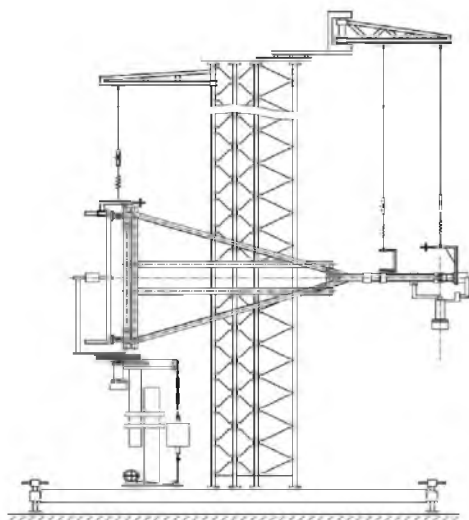
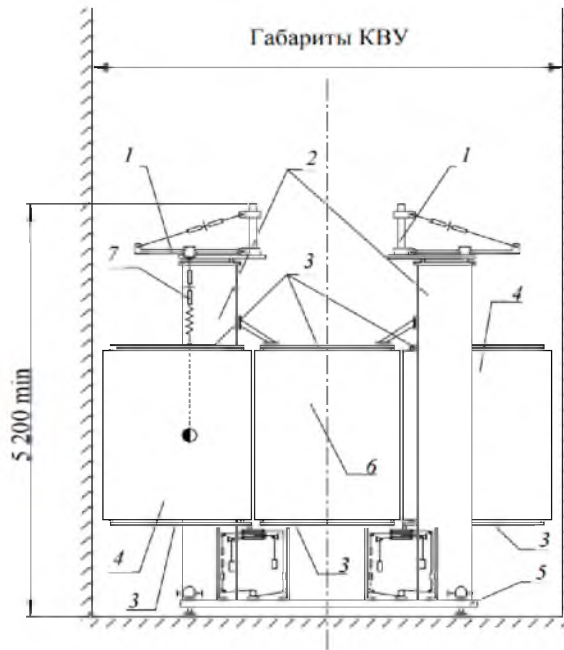


Рисунок 10- Стенд для испытаний звеньев штанги на раскрытие

Для примера приведем схему раскрытия и определения момента сопротивления момента шарнирных устройств (МСШУ) боковых панелей БС в контрольно-весовой установке (КВУ) с обезвешиванием на поворотных балках в соответствии с рисунком 11.



1- Поворотная балка; 2 – колонна; 3 – захват панели; 4 боковая панель; 5 – основание с домкратами; 6 средняя панель; 7 – вывеска панели

Рисунок 11 - Стенд раскрытия панелей.

Если прикладываемые нагрузки вызывают колебания троса обезвешивания по типу маятника, восстанавливающие усилие, равное горизонтальной составляющей натяжения троса, стремится вернуть конструкцию в ее ненагруженное положение. Данный «эффект маятника» минимизируется за счет использования длинных тросов обезвешивания конструкции с высоким соотношением жесткости к весу. Однако если эффект будет существенным, его необходимо учитывать, потому что он будет влиять на измерение жесткости, независимо от того, насколько малыми будут прикладываемые нагрузки и результирующее отклонение. В простых случаях возможно компенсировать этот эффект аналитическими средствами. Жесткость при кручении также можно измерит, если обезвешивающая система спроектирована таким образом, чтобы обеспечить кручение конструкции без ограничений. Вилочные подвесы создают эту дополнительную степень свободы.

Испытания раскрываемой конструкции на прочность могут проводиться до допустимой нагрузки, до предельной нагрузки или разрушения. Такой тип испытаний, когда используются некие формы поддерживающих приспособлений для разгрузки полностью раскрытой конструкции, в принципе не отличается от испытаний на жесткость любого другого механизма или конструкции.

2.2 Испытания на внешние воздействия

Важно проводить испытания механических устройств при предельных температурах, спрогнозированных для работ в космосе. Беспокойство вызывает тот факт, что различное расширение или сжатие разнородных материалов может уменьшить зазор между движущимися частями и замедлить или помешать необходимому движению. Этого можно избежать делая, делая более свободным зазор, чтоб допустить тепловые изменения (деформации), но конструкции могут стать допустимо свободными (вследствие свободного хода) при номинальных температурах. Обычной практикой является проектирование конструкции с минимальным зазором для случая предельных температур, а затем испытание узла при этих температурах для верификации функционирования.

Ресурсные испытания. Решают одну из наиболее сложных проблем, которые следует учитывать для механизмов раскрытия, предназначенных для многократного срабатывания (раскрытия и возврата в исходное положение) на протяжении всего срока активного существования. Штатный квалификационный узел полетного типа должен использоваться для демонстрации, как минимум, пятикратного запаса требуемого количества циклов штатного функционирования. При отсутствии для проведения данных испытаний разработочного или квалификационного узла (блока), для обеспечения уверенности в проекте конструкции можно провести сочетание испытаний на протолетном блоке (после чего последует обновление) и испытания компонентов. В испытаниях, особенно на уровне компонентов, принято демонстрировать более чем двойной запас по ресурсу при номинальных нагрузках или проводить требуемое количество срабатываний (циклов) при избыточных прикладываемых нагрузках. Особое внимание следует уделять тому, чтобы нештатные нагрузки не вызвали новых (и нереальных) видов (режимов) отказов, в частности, в смазанных поверхностях, которые подвержены ускоренной деградации при избыточных нагрузках.

Как правило, механические срабатывания (циклы) систем раскрытия ограничены усталостью или износом активных частей. Если имеются аналитические способы оценки усталости и появления трещин в комплектующих, то самым трудным для анализа будет процесс износа. Воздействие износа, среди прочего, включает перемещение смазки, деградацию покрытий поверхностей, изменение формы краев и истирание кабелей. Эксплуатационные характеристики некоторых механизмов могут быть усовершенствованы при начальных эффектах износа (например, приработка цепи привода, шарнира) но в конечном счете, они будут ухудшаться в результате повышенного трения, появления частиц изнашивания (мусора), и в итоге произойдет отказ или заедание элементов конструкций. Для раскрываемых систем или сборочных единиц, которые должны выполнить большое количество срабатываний, испытания при нормальных условиях, когда комплектующие неоднократно подвергаются нагрузкам, могут помочь

определить, какие поверхности являются наиболее критичными, определить объем загрязнения и установить какой компонент может оказать первым.

2.3 Испытания рефлектора на развертывание

Система имитации невесомости предназначена для обезвешивания рефлектора при его испытаниях на раскрытие.

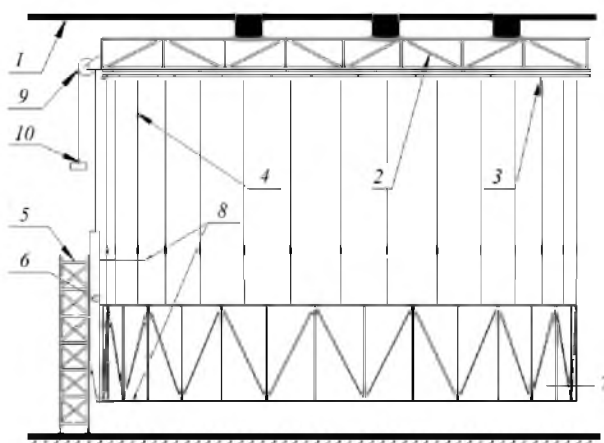
Система состоит из следующих основных частей:

- силовой рамы с элементами выставки направляющих;
- направляющих;
- кареток и вывесок секций рефлектора;
- стойки;
- интерфейса рефлектора.

Силовая рама показанные на рисунке 12 представляет собой ферменную конструкцию из алюминиевых профилей, верхняя часть которой крепится к силовому потолку, а нижняя снабжена регулировочными элементами для выставки в горизонтальное положение направляющих для движения кареток. На силовой раме установлен блок для груза, предназначенного для обезвешивания интерфейса рефлектора.

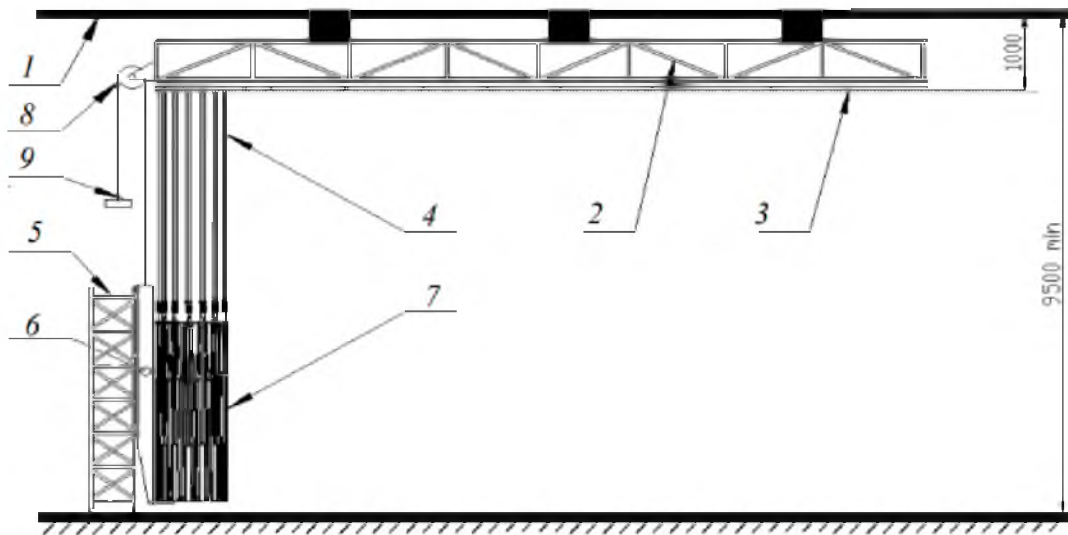
Направляющие показаны на рисунке 13 выполнены из алюминиевого профиля таврового сечения, снабжены стыковочными узлами.

Каретки показаны на рисунке 14 снабжены подшипниками качения, имеют отверстия для закрепления нити вывески. Вывеска состоит из нитей, снабжена пружиной 2 и устройством регулирования усилия пружины.



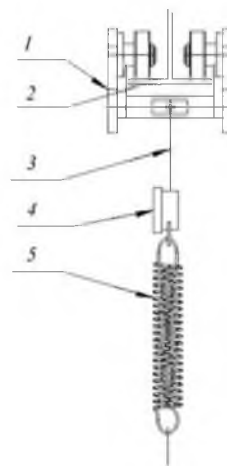
- 1 – Силовой потолок; 2 – силовая рама; 3 – направляющие; 4 – вывески; 5 – стойка;
6 – интерфейс рефлектора; 7 рефлектор(развернутое положение); 8 – крышки; 9 – блок;
10 – груз.

Рисунок 12 - Стенд имитации невесомости с развернутым рефлектором



1 – Силовой потолок; 2 – силовая рама; 3 – направляющие; 4 – вывески; 5 – стойка; 6 – интерфейс рефлектора; 7 – рефлектор(транспортное положение); 8 – блок; 9 – груз.

Рисунок 13 - Стенд имитации невесомости с развернутым рефлектором



1– каретка; 2– направляющая; 3 – трос; 4 – натяжитель; 5– пружина

Рисунок 14 - Вывеска секции

Стойка пружины закреплена на полу. На стойке размещены кабели, подходящие к интерфейсу рефлектора.

Интерфейс рефлектора имеет стыковочные элементы для крепления рефлектора, крышек, приводов для натягивания троса рефлектора, системы зачехления рефлектора.

Подготовка к работе системы имитации невесомости включает в себя следующее:

- выставку направляющих в горизонтальное положение;

- регулирование длины вывесок до размера, при котором пружина будет создавать усилие, равное весу секции рефлектора;
- обезвешивание интерфейса рефлектора
- стыковку рефлектора к системе имитации невесомости;
- закрепление рефлектора на стойке с помощью интерфейса рефлектора;
- сборку схемы испытаний.

3 Виды систем обезвешивания

Альтернативным тросовым вариантам обезвешивания испытуемых на стендах изделий является использование специализированных подвижных транспортных средств – тележек, стоек с помощью которых силы обезвешивания прикладываются к раскрываемым частям испытуемого изделия не сверху, а снизу в соответствии с рисунком 15.



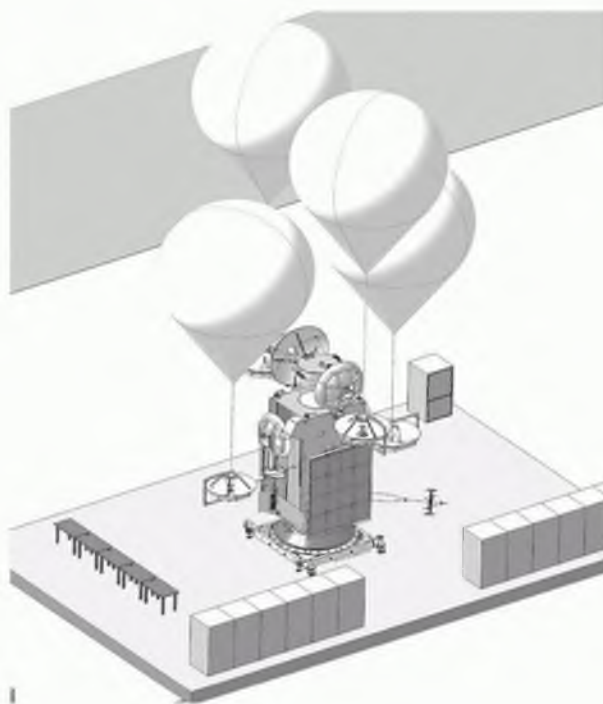
Рисунок 15–Система обезвешивания на основе тележек

Актуальной в наше время системой обезвешивания, является система, в которой подъемную силу (тяговое усилие) создает, и компенсирует вес антенны шар-баллон наполненный гелием рисунок в соответствии с рисунком 16, 17, при переводе из транспортировочного положения в рабочее и обратно. Также в эту систему (как и в другие) входят троса, датчик для контроля силы, набор грузов для обеспечения необходимого усилия тяги, специальные кронштейны и крепления, которые устанавливаются на антенны, образующие в совокупности вывеску, обеспечивающую соединение антенны с гелиевым шар-баллоном. Сила тяги, которую может создать один шар баллон приблизительно 70кг, для того, чтобы это усилие увеличить применяется сцепка из нескольких шаров. Данная система обезвешивания является универсальной и мобильной.



Рисунок 16–Шар-баллон

Минусами такой системы являются дороговизна гелия, большие размеры самих шаров с гелием. В надутом состоянии высота шара составляет 7м, ширина 6м. после сцепки габариты вырастают что позволяет использовать их в помещениях только с высокими перекрытиями и не малой площадью. Зависимость от температурных условий.



Фиг. 3

Рисунок 17 – Обезвешивание антенн при помощи шар-баллонов

Еще одной разновидностью пассивной системы обезвешивания состоящий из комплекта деталей, сборочных единиц и крепежных деталей которые в сборе образуют стенд-стойкав соответствии с рисунком 18, для обезвешивания антенн. Основой каждого стенда является ферма на которую монтируется система обезвешивания. Ферма представляет собой сборную ферменную конструкцию состоящую из основания и четырех секций. Основание снабжено поворотными колёсами обеспечивающими внутренне перемещение фермы вручную, и четырьмя домкратами обеспечивающими выставку её на рабочем месте вертикально с требуемой точностью. Для контроля вертикальности фермы на её основании выполнена площадка под домкрат.

Для перемещения фермы в БЭК (безэховая камера), где высота ворот не позволяет прохождению фермы в полностью собранном виде, конструкция позволяет перевести её в транспортировочное положение в котором её высота позволяет преодолеть не высокий дверной проём.

Система обезвешивания антенн состоит из балансира закрепленного на ферме посредством узла регулировки положение балансира и зацепа. Каждый балансир представляет собой балку шарнирно закреплённую на неподвижной опоре. Шарнирный узел балансира имеет две степени свободы и обеспечивает

повороты балки на опоре по осям вращения X-ХиY-Y. На одном конце балки шарнирно закреплена вилка с возможностью поворота оси X1-X1, на который через талреп крепится вывеска, на другом конце балки устанавливаются балансировочные грузы.

Настройка балансира для обезвешивания антенн осуществляется путём подбора грузов и регулировки положения грузов на шпильке.

Такая система обезвешивания подходит для проведения раскрытия антенн в ограниченном пространстве. Является мобильной. Грузоподъёмность данной системы не высокая менее 20 кг и предназначена для раскрытия антенн на небольшой высоте около 2-4 метров.

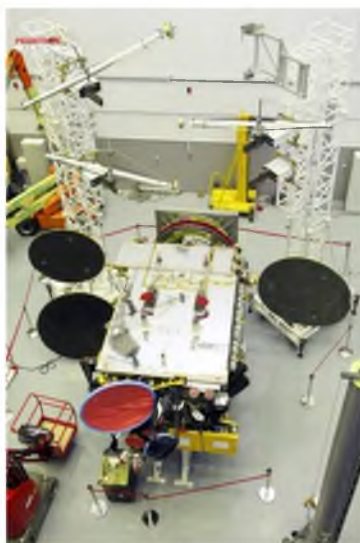


Рисунок 18 – Стенд стойка с балансиром для обезвешивания антенн

Системы пассивного обезвешивания не обеспечивают перемещения обезвешиваемых конструкций во всех трех направлениях с одновременным увеличением диапазонов перемещений; увеличения максимальных значений скорости до нескольких метров в секунду и ускорений до единиц метров в секунду; учет возможного перераспределения обезвешиваемых масс [2].

По этому хотелось бы рассказать о второй разновидности систем обезвешивания – активных системах.

К таким системам, например, относится система с активным подвесом [3]. В отличие от пассивного аналога, данная система в качестве противовеса использует не груз, а управляемый двигатель снабженный, как правило, датчиком усилия натяжения троса. Кроме того, в данной системе применяются активные устройства выравнивания вертикальности тросов, что делает ее более точной в отношении возникающих боковых нагрузок, чем пассивный аналог. Возможно применения груза-противовеса для компенсации большей доли силы тяжести и двигателя для компенсации оставшейся, что приводит к выигрышу по динамическим показателям [4].

4 Вывод по первым трем разделам

После выдачи заключения о возможности использования системы компенсации сил тяжести на этапе наземной экспериментальной отработки и проведения наземных испытаний, их результаты сравниваются с результатами теоретических расчетов.

Целью теоретических расчетов является следующее:

- определение параметров функционирования механических систем конструкций БС в условиях наземной экспериментальной отработки;

- определение времени раскрытия элементов конструкции при раскрытии на стендах обезвешивания при проверке функционирования (для подтверждения правильности заложенных конструкторских решений) на основе результатов анализа параметров функционирования;

- определение нагрузок раскрытия на элементы конструкции, определение и разработка рекомендаций по величинам дополнительных тормозящих (условие не превышения нагрузок штатной эксплуатации) и разгоняющих (условия достижения штатных скоростей раскрытия) моментов.

- определение влияния параметров стенда системы обезвешивания (массо-инерционных характеристик поворотных балок, траверса, захватов, сил трогания кареток, моментов трогания поворотных балок), сил аэродинамического сопротивления на параметры функционирования механических устройств элементов конструкции.

Таким образом, тщательные испытания на прочность и функционирование КА являются необходимым условием обеспечения длительного срока активного существования 12...15 лет [1].

5 Система компенсации весовой составляющей

Система компенсации весовой составляющей (СКВС) штанг антенн показана на рисунке 1, предназначена для компенсации веса подвижных элементов штанг антенн при сборочных операциях и в процессе отработки их функционирования.

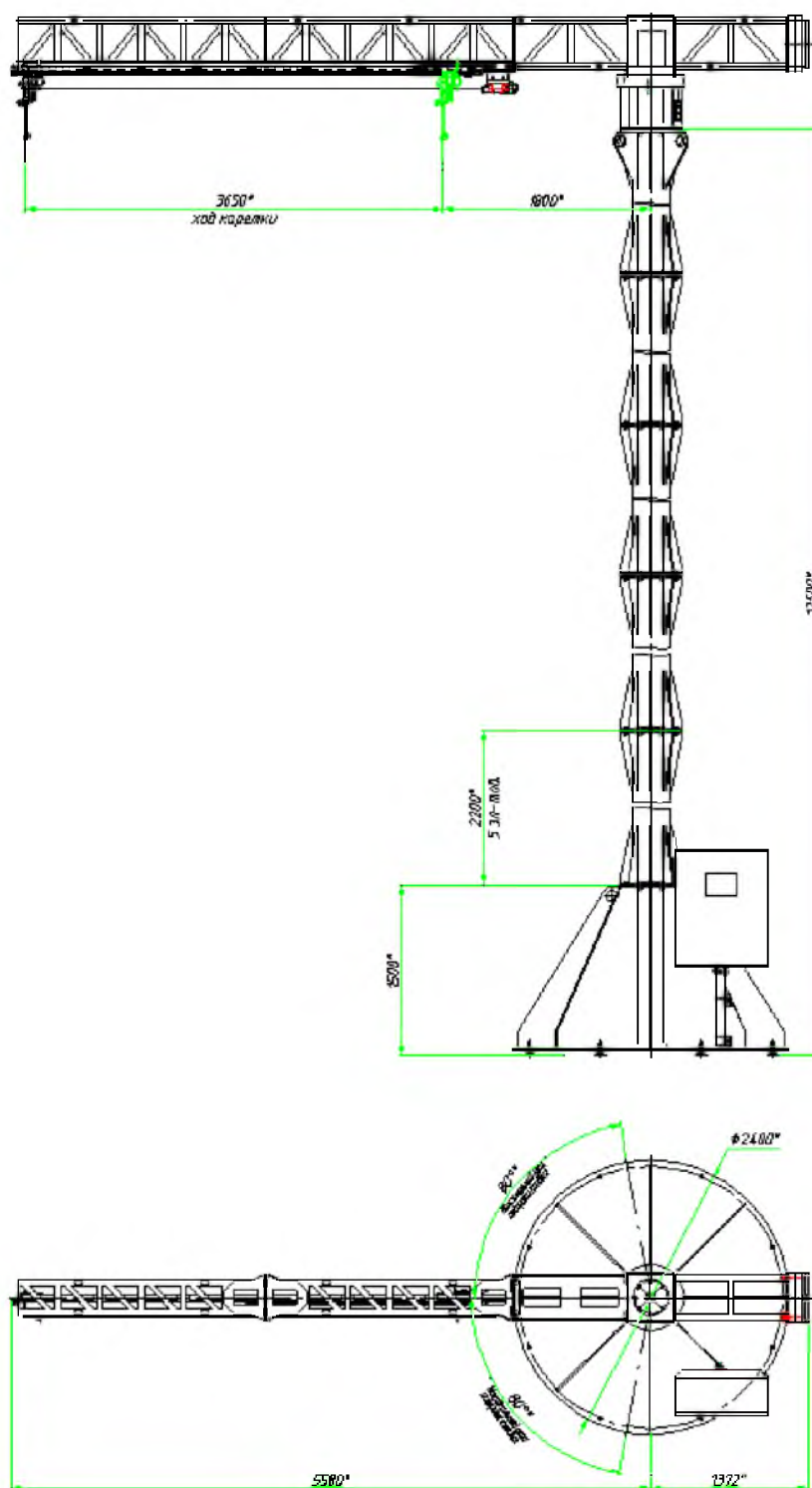


Рисунок 19 – Общий вид СКВС

5.1 Технические данные система компенсации весовой составляющей

Технические данные СКВС:

- 1.1 количество кареток: 1шт;
- 1.2 диапазон хода каретки: 0-3650;
- 1.3 угол поворота консоли: 160°;
- 1.4 рабочая нагрузка согласно ТТ ч. 18.69.801.00.000СБ и 18.69.801.00.000ПС;
- 1.5 максимальная (испытательная) нагрузка согласно ТТ ч. 18.69.801.00.000ПС;
- 1.6 диапазон хода точки подвеса каретки по вертикальной оси: 0-12000мм;
- 1.7 потребляемая мощность: 5 кВт (380В, 50Гц);
- 1.8 габаритные размеры системы компенсации весовой составляющей (СКВС) штанг антенн: (ШхВхД) 2400х13500х6952мм;
- 1.9 состав СКВС. В состав СКВС штанг антенн входит:
 - основание;
 - колонна;
 - привод поворота фермы;
 - привод тяговый;
 - каретка;
 - шкаф управления.

Сборка СКВС штанг согласно чертежу 18.69.801.00.000СБ. Установка СКВС штанг антенн согласно планировке расположения оборудования, разработанным цехом заказчиком, с учетом требований ОТ, оптимальной работы и удобства планово-предупредительного ремонта (ППР)

1.10 Условия эксплуатации:

1.10.1 температура окружающей среды от 5° до 35°С.

1.10.2 относительная влажность от 10 до 90% (без конденсации).

1.10.3 атмосферное давление от 108000 до 79500Па.

1.10.4 механическая защита IP54.

1.10.5 допустимая вибрация:

– $5\text{ Гц} \leq f \leq 8,4\text{ Гц}$ при постоянной амплитуде 0,0375;

– $8,4\text{ Гц} \leq f \leq 150\text{ Гц}$ при постоянном ускорении 0,5g.

5.2 Описание управляющих элементов системы компенсации весовой составляющей штанг антенн

Шкаф управления СКВС установлен непосредственно на основании колонны. Питание шкафа управления осуществляется от трех фазной сети питания переменного тока напряжением 380В. Для подключения питания используется кабель длиной 20 метров с установленной на конце пяти полюсной 16А вилкой. Вилка и розетка питания шкафа управления, подключение вилки питания шкафа управления к стационарной розетке показана на рисунке 20.

Консоль шкафа управления показан на рисунке 21. На дверце шкафа управления расположены следующие органы управления и индикации:

– желтый индикатор «Сеть», сигнализирует о наличии питания сети 380В;



Рисунок 20 – Вилка и розетка питания шкафа управления, подключение вилки питания шкафа управления к стационарной розетке



Рисунок 21 – Консоль шкафа управления

– черная кнопка «Ввод. ВКЛ», предназначена для подачи питания в шкаф управления;

– красная кнопка «Ввод. ОТКЛ», предназначена для отключения питания от шкафа управления;

– красная грибовидная кнопка с фиксатором, предназначена для аварийной остановки «Аварийный останов». Кнопка "Аварийный останов" останавливает работу СКВС штанг антенн . Кнопку «Аварийный останов» использовать только в случае крайней необходимости, при возникновении аварийного события, при котором прекращение работы системы компенсации весовой составляющей штанг антенн не приведет к дальнейшему ухудшению ситуации.

– панель оператора eMT3070B является основным средством мониторинга и управления СКВС штанг антенн, предоставляет доступ к технологическим данным, позволяет отслеживать и по мере необходимости изменять параметры процесса.

Панель оператора установлена непосредственно в консоль пульта управления. Работа с графическим интерфейсом панели оператора основана на сенсорной технологии, для выполнения каких-либо действий необходимо физическое прикосновение к экрану пальцем (непосредственное нажатие на виртуальные кнопки).

5.3 Стартовый экран системы компенсации весовой составляющей штанг антенн



Рисунок 22– Стартовый экран системы компенсации весовой составляющей штанг антенн

После включения СКВС штанг антенн в сеть 380В, нажатия кнопки «Ввод. ВКЛ» включается панель оператора. Необходимо дождаться загрузки программного обеспечения панели, по окончании которой отобразится стартовый экран в соответствии с рисунком 22. На стартовом экране находятся поля ввода/вывода информации и виртуальные кнопки управления. Описание виртуальных кнопок управления и полей ввода/вывода информации на стартовом экране приведены в таблице 2.

Графическое изображение СКВС штанг антенн показано на рисунке 22, представленное на панели оператора, полностью анимировано – выполнена индикация работы системы: срабатывание датчиков конечного положения, отображение текущих команд управления и режимов работы. Пояснения к индикациям графического изображения также приведены в таблице 3.

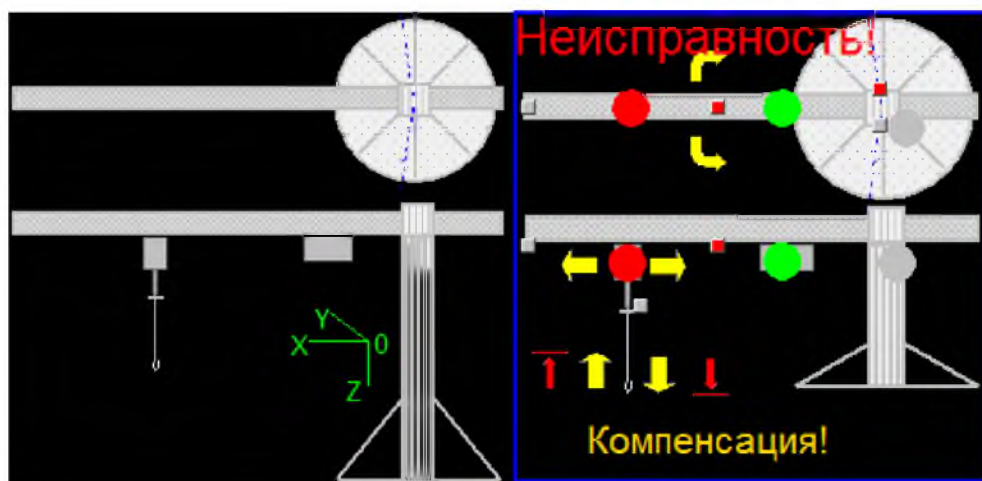


Рисунок 23– Графическое изображение СКВС штанг антенн




Таблица 2 – Описание виртуальных кнопок управления и полей ввода/вывода информации на стартовом экране

Назначение органов управления	Наименование кнопок	Описание назначения
Индикация графического изображения	Неисправность!	Индикатор аварии
	Компенсация!	Индикатор работы системы в режиме компенсация.
	<ul style="list-style-type: none"> ● - ограничение работы. ● - в работе. ● - неисправность. ● - остановленн. 	Индикатор состояния пары серводвигатель – сервоусилитель
	<ul style="list-style-type: none"> ■ - положение достигнуто. ■ - положение не достигнуто. ↓ - ограничение хода вниз / вверх ↑ по показаниям энкодера. 	Индикаторы сигналов с датчиков конечного положения механизмов
	↻	Индикатор работы механизмов- поворот консоли по часовой стрелке


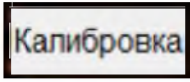
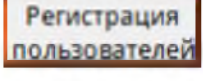
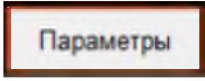

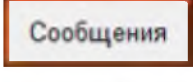
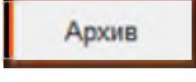
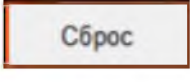

Продолжение таблицы 2

		Индикатор работы механизмов- поворот консоли против часовой стрелки
		Индикатор работы механизмов- перемещение каретки к стойке
		Индикатор работы механизмов- перемещение каретки от стойки к краю консоли
		Индикатор работы механизмов- перемещение груза вверх
		Индикатор работы механизмов- перемещение груза вниз.
Поля ввода/вывода информации		Поле вывода отклонения подвеса по оси ХСКВС штанг антенн, единица измерения - градус
		Поле вывода отклонения подвеса по оси YСКВС штанг антенн, единица измерения - градус
		Поле вывода текущего отклонения массы груза, единица измерения - грамм
		Поле вывода текущего веса груза, единица измерения - грамм

Продолжение таблицы 2

	<p>Компенсированный вес</p> <p>0000 грамм</p>	<p>Поле ввода заданного компенсированного веса, единица измерения - грамм</p>
	<p>Положение каретки</p> <p>0000 мм</p>	<p>Поле вывода текущего положения каретки, единица измерения - мм</p>
	<p>Положение лебедки</p> <p>0000 мм</p>	<p>Поле вывода текущего положения лебедки, единица измерения - мм</p>
Кнопки управления		<p>Кнопки запуска перемещения груза вверх или вниз соответственно направлению стрелок. Для выполнения перемещения необходимо нажать и удерживать кнопку</p>
		<p>Кнопки запуска перемещения каретки. Стрелка налево – перемещение каретки от стойки к краю консоли. Стрелка направо - перемещение каретки к стойке. Для выполнения перемещения необходимо нажать и удерживать кнопку</p>
		<p>Кнопки запуска поворота консоли по часовой стрелке или против часовой стрелки соответственно. Для выполнения перемещения необходимо нажать и удерживать кнопку</p>

Окончание таблицы 2

		Кнопка установки нулевого значения в выбранный параметр
		Кнопка для калибровки положения каретки /положения лебедки
		Кнопка смены уровня доступа
		Кнопка перехода на экран настройки дополнительных параметров
		Кнопка перехода на экран «Режим компенсации»
		Кнопка перехода на экран сообщений
		Кнопка перехода на экран архива
		Кнопка сброса аварийных событий.
		Кнопка перехода на экран помощи оператору

5.4 Разграничение доступа

Система управления имеет функцию разграничения доступа к управлению и настройкам СКВС штанг антенн. Таким образом, существует ряд ограничений на выполнение некоторых операций оператором по управлению СКВС штанг антенн, редактированию параметров и установок, а также ограничение возможности доступа к информации, отображаемой на экране.

В программе прописаны два статуса пользователя:

1 Admin.

2 Operator (пользователь по умолчанию).

Пароли для входа под именем Admin находятся у разработчика программы управления (представители отдела 817). Во время сеанса под именем «Admin» существует полный доступ к управлению СКВС штанг антенн и отображается вся информация, в том числе служебная и необходимая только для настройки и теста СКВС штанг антенн. По нажатию на кнопку «Регистрация пользователей» оператор вызывает окно изменения уровня доступа показанное на рисунке 6 и приведен в таблице 3.

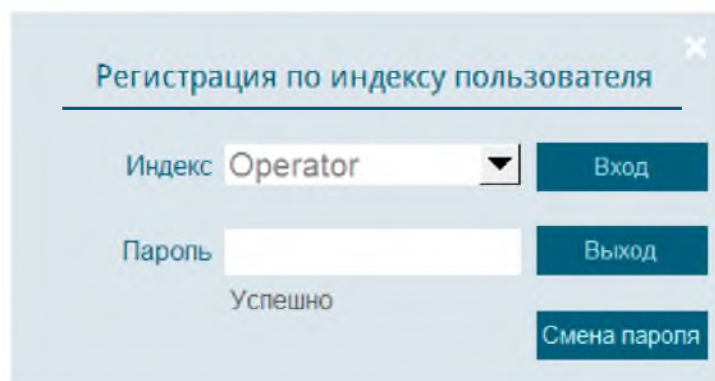




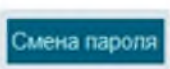



Рисунок 24 – Окно изменения уровня доступа

Таблица 3 – Описание кнопок управления для окна изменения уровня доступа

Назначение органов управления	Наименование кнопок	Описание назначения
Индикация		Поле, отображающее информацию текущем уровне доступа
Поле ввода/вывод		Поле ввода пароля для соответствующего уровня доступа

Окончание таблицы 3

Кнопки управления		Кнопка входа в выбранный статус. Вход будет выполнен при правильно введённом пароле
		Кнопка выхода из статуса пользователя Admin
		Кнопка смена пароля. Доступна только пользователю Admin
		Кнопка закрытия окна смены уровня доступа

Ввод пароля осуществляется с помощью виртуальной клавиатуры представленной на рисунке 25.



Рисунок 25 – Виртуальная клавиатура для ввода пароля

После набора пароля необходимо нажать кнопку "Ввод" для подтверждения введенных данных. Для выхода с экрана ввода пароля необходимо нажать крестик в верхнем правом углу. При корректном значении пароля, уровень доступа изменится на «Admin».

5.5 Экран режима компенсации

На экране режима компенсации, показанного на рисунке 26, находятся поля вывода информации и кнопки управления СКВС штанг антенн. Описание виртуальных кнопок управления и полей вывода информации на экране режима компенсации приведены в таблице 4.

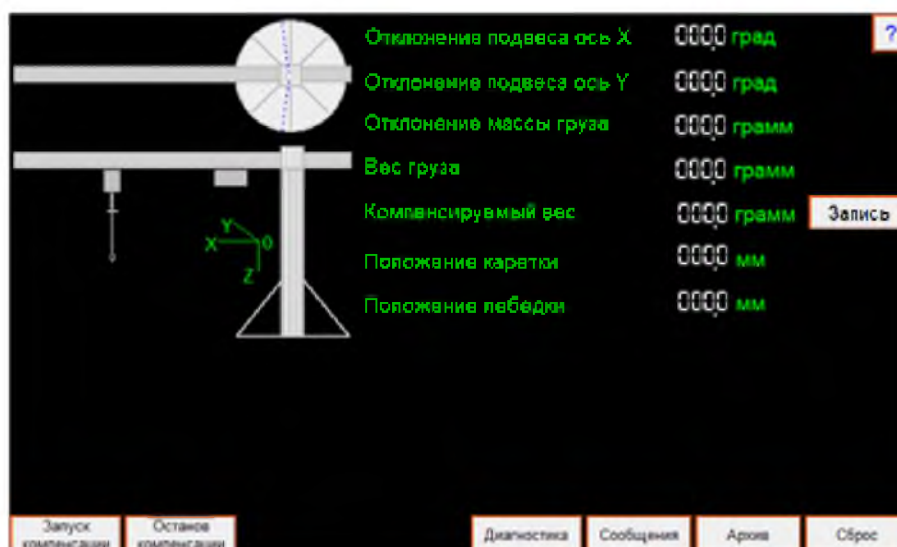


Рисунок 26 – Экран режима компенсации

Таблица 4 – Описание виртуальных кнопок управления и полей вывода информации на экране режима компенсации

Назначение органов управления	Наименование кнопок	Описание назначения
Поля ввода/вывода информации	<p>Отклонение подвеса ось X</p> <p>0000град</p>	Поле вывода отклонения подвеса по оси ХСКВС штанг антенн, единица измерения - градус
	<p>Отклонение подвеса ось Y</p> <p>0000град</p>	Поле вывода отклонения подвеса по оси YСКВС штанг антенн, единица измерения - градус

Окончание таблицы 4

	<p>Отклонение массы груза</p> <p>0000 грамм</p>	Поле вывода текущего отклонения массы груза, единица измерения - грамм
	<p>Вес груза</p> <p>0000 грамм</p>	Поле вывода текущего веса груза, единица измерения - грамм
	<p>Компенсированный вес</p> <p>0000 грамм</p>	Поле ввода компенсируемого веса, единица измерения - грамм.
	<p>Положение каретки</p> <p>0000 мм</p>	Поле вывода текущего положения каретки, единица измерения - мм
	<p>Положение лебедки</p> <p>0000 мм</p>	Поле вывода текущего положения лебедки, единица измерения - мм
Кнопки управления	<p>Запись</p>	Кнопка для записи текущего значения веса в поле заданного компенсируемого веса
	<p>Запуск компенсации</p>	Кнопка запуска режима компенсации в автоматическом режиме
	<p>Останов компенсации</p>	Кнопка останова режима компенсации
	<p>Диагностика</p>	Кнопка перехода на экран диагностики

Во время работы под уровнем доступа «Admin» становятся доступны кнопки «Вертикальная раскладка» и «Весовая характеристика», предоставляющие дополнительные возможности управления. Экран режима компенсации под уровнем доступа «Admin» показан на рисунке 27.

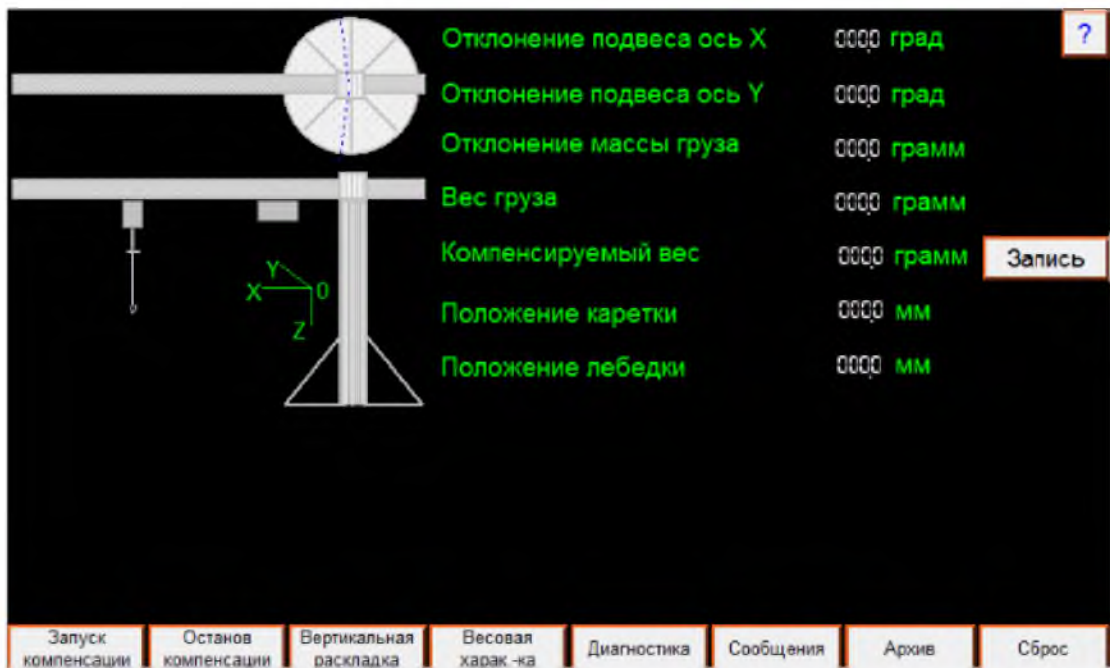


Рисунок 27 – Экран режима компенсации под уровнем доступа «Admin»

По нажатию на кнопку «Весовая характеристика» вызывается окно «Весовая характеристика», показанное на рисунке 28, которое предназначено для формирования таблицы весовых характеристик из 10 точек. Описание функциональных элементов окна приведены в таблице 5.

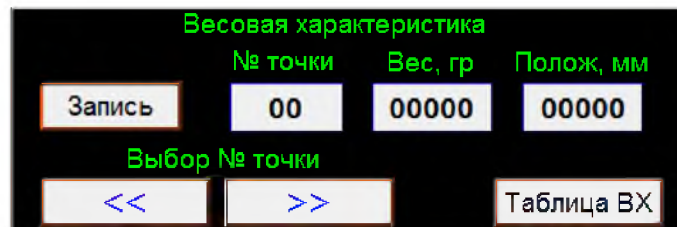

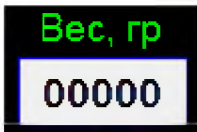
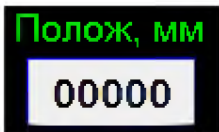


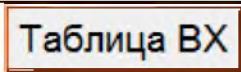


Рисунок 28 – Окно «Весовая характеристика»

Таблица 5 – Описание виртуальных кнопок управления и полей вывода информации окна «Весовая характеристика»

Назначение органов управления	Наименование кнопок	Описание назначения
Поля ввода/вывода информации		Поле вывода номера точки для записи в «Таблицу ВХ»

Окончание таблицы 5

		Поле вывода текущего веса груза, единица измерения - грамм
		Поле вывода текущего положения лебедки, единица измерения - мм
Кнопки управления		Кнопки выбора номера точки от 0 до 10
		Кнопка записи текущих значений в выбранную точку записи «Таблицы ВХ»
		Кнопка вызова окна «Таблица ВХ»

Заполнение «Таблицы ВХ» всегда необходимо начинать с точки с №0. Предварительно разбив траекторию раскрытия (опускания) на 10 равных частей. Запись осуществлять при стабилизации показаний веса и положения лебедки.

По нажатию на кнопку «Таблица ВХ» вызывается окно «Таблица весовых характеристик» с записанным 10 точками положения лебедки и веса, предназначенных для выполнения вертикальной раскладки в автоматическом режиме.

Окно «Таблица ВХ» показано на рисунке 29.

№ точки	Вес, гр	Полож, мм
0	27159	00881
1	26550	00701
2	26557	00639
3	26594	00559
4	26723	00484
5	26810	00447
6	26835	00418
7	26953	00373
8	26974	00360
9	27058	00348

Удалить Закрыть

Рисунок 29 – Окно «Таблица ВХ»

5.6 Экран сообщений

Экран сообщений показанный на рисунке 30 содержит текстовое окно аналогичное экрану сообщений, с возможностью просмотра полного архива всех действий оператора и аварийных сообщений.

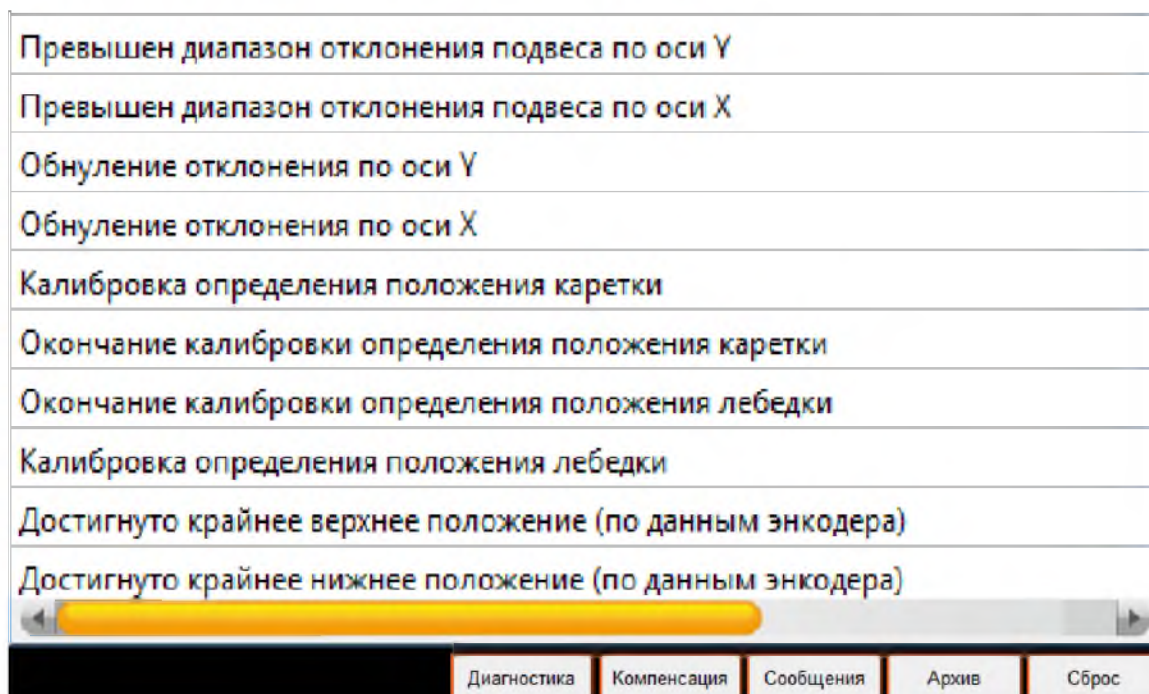


Рисунок 30 – Экран сообщений

Кнопка «+» и «-» - предназначены для добавления/удаления данных из архива.

5.7 Экран параметры

Экран параметры показан на рисунке 31.

Параметры стр.1		
П.1	15	Предельное отклонение подвеса по оси Y (Консоль), град
П.2	15	Предельное отклонение подвеса по оси X (Каретка), град
П.3	0500	Предельное рассогласование веса, грамм
П.4	0500	Скорость лебедки при предельном рассогласовании веса, Гц
П.5	75000	Максимальный вес работы лебедки, грамм
П.6	0200	Минимальный вес работы лебедки, грамм
П.7	03638	Полная длина пути каретки (для калибровки), мм
П.8	011600	Полная длина пути лебедки (для калибровки), мм
П.9	10.0	Кoeffициент регулирования скорости консоли: "a" $[V = i(a\alpha)^2 + b\alpha]$
П.10	5000	Кoeffициент регулирования скорости консоли: "b" $[V = i(a\alpha)^2 + b\alpha]$
П.11	10.0	Кoeffициент регулирования скорости каретки: "a" $[V = i(a\beta)^2 + b\beta]$
П.12	20000	Кoeffициент регулирования скорости каретки: "b" $[V = i(a\beta)^2 + b\beta]$
П.13	0	Кoeffициент регулирования скорости лебедки: "a" $[V = i(a\Delta m)^2 + b\Delta m]$
П.14	00065	Кoeffициент регулирования скорости лебедки: "b" $[V = i(a\Delta m)^2 + b\Delta m]$

<< >> Диагностика Сообщения Архив Сброс

Параметры стр.2		
П.15	15000	Скорость консоли в ручном режиме, Гц
П.16	200000	Скорость каретки в ручном режиме, Гц
П.17	50000	Скорость лебедки в ручном режиме, Гц
П.18	2000	Время разгона/торможения консоли, мс
П.19	500	Время разгона/торможения каретки, мс
П.20	500	Время разгона/торможения лебедки, мс
П.21	0050	Зона нечувствительности рассогласования веса №1, гр.
П.22	0150	Зона нечувствительности рассогласования веса №2, гр.
П.23	0010	Цифровой фильтр аналоговых сигналов
П.24	000.000	Резерв
П.25	000.000	Резерв
П.26	000000	Резерв
П.27	000000	Резерв
П.28	0000	№ меркера ошибки ПЛК

<< >> Диагностика Сообщения Архив Сброс

Рисунок 31 – Экран параметры

Экран параметры содержит перечень основных параметров, влияющих на работу СКВС. Оператор вправе изменять данные параметры в процессе калибровки системы. Первоначально установленные параметры приведены выше на рисунке 31. В случае возникновения неисправности в работе системы компенсации весовой составляющей штанг антенн восстанавливаются данные параметры.

5.8 Подготовка к работе

Управление СКВС штанг антенн осуществлять не менее чем двумя операторами. В обязанности первого должно входить непосредственное управление и контроль параметров системы по показаниям с дисплея на панели управления, второго - непрерывный визуальный контроль за состоянием текущего технологического процесса, траектории движения изделия во избежание его повреждения о выступающие части другого оборудования.

5.9 Порядок подготовки. Общие требования

Провести внешний осмотр СКВС штанг антенн:

- целостность привода поворота и привода тягового, должны отсутствовать: механические повреждения конструктивных элементов, сколы и трещины на зубчатых колёсах и шестернях, следы (подтеки) масла и смазки.
- целостность изоляции внешней электропроводки;
- наличие и целостность коммутационных, сигнальных устройств (управляющие кнопки, панель оператора, сигнальные лампы);
- выполнить заземление системы компенсации весовой составляющей штанг антенн согласно ПУЭ (правила устройства электроустановок);
- подключить питание 380 В СКВС штанг антенн;
- подключить вилку питания шкафа управления к ближайшей соответствующей розетке;
- убедиться в наличии питания в выбранной для подключения розетке;
- уложить кабель питания и принять другие необходимые меры для предотвращения контакта персонала с кабелем;
- включить шкаф управления;
- нажать кнопку «Ввод. ВКЛ» расположенную на дверце ШУ;
- убедиться в наличии питания ШУ по индикатору «Сеть» (если индикатор не горит - проверьте состояние автоматического выключателя питания источников постоянного тока SF1 или вызвать электротехнический ремонтный персонал);
- оператор должен подождать 1-2 минуты для полного запуска системы, включающей в себя загрузку программы центрального процессора и начало работы операционной сенсорной панели оператора.

Для работы в системе управления пользователю необходимо зарегистрироваться, для этого необходимо нажать кнопку «регистрация пользователей».

Проверка работы системы компенсации весовой составляющей:

- проверить отсутствие индикации аварии – индикатор «Неисправность» на панели оператора не должен гореть, иначе смотри пункт «Неисправности» настоящего РЭ;
- убедиться в наличии закрепленного испытательного груза;

Не допускается перемещение каретки и включение намотчиков подвеса без груза. Рекомендуемый груз 2кг.

Недопустимо нахождение людей в зоне движения каретки и груза.

– проверить возможность управления кареткой органами управления панели оператора. Для перемещения каретки необходимо нажать и удерживать кнопку управления соответствующего направления движения. В процессе перемещения каретки убедитесь в отсутствии проскальзывания подвеса, заедания механизмов, посторонних шумов. Проверьте остановку движения каретки при отпускании соответствующей кнопки управления.

– проверить функционирование привода поворота консоли. Для перемещения консоли необходимо нажать и удерживать кнопку управления соответствующего направления движения. В процессе перемещения консоли убедитесь в отсутствии заедания и подклинивания механизмов, посторонних шумов. Проверьте остановку движения консоли при отпускании соответствующей кнопки управления.

– осуществить прогон каретки до позиций срабатывания датчиков крайних положений каретки и подвеса, убедиться в блокировке хода, а так же в наличии индикации на панели оператора, срабатывания датчиков крайних положений каретки и подвеса.

Отработать раскладку вручную, наблюдая за работой механизмов. При низкой скорости реакции на малых значениях рассогласования увеличить коэффициент «b», а при большой чувствительности к малым отклонениям – уменьшить его значение.

Коэффициент «a» влияет на процесс компенсации при больших значениях отклонения аналогично коэффициенту «b».

Большие значения коэффициентов приводят не только к увеличению скорости реакции, но и к увеличению чувствительности системы ко всевозможным ложным колебаниям и шумам.

Во время отработки необходимо убедиться в надежности работы системы, отсутствии сторонних колебаний и достаточной скорости реакции системы.

5.10 Порядок установки нуля отклонения подвеса по оси X и оси Y

Подвесить груз близкий по значению к весу компенсируемого объекта.

Дождаться успокоения колебаний троса.

Нажать и удерживать более 5 сек. кнопку установки нулевого значения для параметра «Отклонение подвеса по оси X». После проделать тоже самое для параметра «Отклонение подвеса по оси Y».

Убедиться в обнулении показаний, в полях текущих значений должны записаться нули.

5.11 Порядок установки нуля показаний веса

Снять установленный груз.

Дождаться успокоения колебаний троса.

Нажать и удерживать более 5 сек. кнопку установки нулевого значения для параметра «Вес груза».

Убедиться в обнулении показаний, в поле текущего значения должны записаться нули.

5.12 Калибровка положения каретки и лебедки

Калибровку положения каретки и лебедки осуществляйте каждый раз перед началом процесса компенсации:

1) установить лебедку в положение беспрепятственного перемещения каретки во всем диапазоне.

2) снять установленный груз.

3) нажать и удерживать более 5 сек. кнопку «калибровка» для положения лебедки до появления соответствующего индикатора работы процесса калибровки. по окончании калибровки индикация процесса калибровки прекращается.

4) подвесить груз близкий по значению к весу компенсируемого объекта.

5) установить каретку в противоположное крайнее положение.

6) опустить лебедку до крайнего нижнего положения (нулевой позиции с учетом подвешиваемого груза).

7) замерить расстояние до пола, вычесть замеренное значение от полной длины и полученное значение ввести в параметр «п.8».

8) нажать и удерживать более 5 сек. кнопку «калибровка» для положения каретки до появления соответствующего индикатора работы процесса калибровки. по окончании калибровки индикация процесса калибровки прекращается.

9) проверьте показания положения каретки и лебедки, при необходимости повторите процесс.

5.13 Порядок присоединения подвеса к штанге антенны

Перевести СКВС в режим «Диагностика» (стартовый экран).

В ручном режиме подвести каретку к месту стыковки подвеса со штангой. Опустить подвес.

Не допускается перемещение каретки и включение намотчиков подвеса без груза. Рекомендуемый груз 2кг.

Отстыковать груз. При стыковки подвеса со штангой антенны, подвес должен находиться в прослабленном состоянии. После соединения подвеса со штангой, задать вес компенсации данного звена, поставить подвес на

компенсацию, при этом исполнителю данных работ необходимо обеспечить предварительное натяжение подвеса до появления усилия в тросе подвеса и стабилизации обезвешивающего усилия компенсации. После достижения заданного веса перевести подвес в режим удержания.

Оператору необходимо отслеживать совпадение текущих и заданных весов, а также допустимые отклонения углов подвеса. Правильный результат: каретка не перемещается, вес стабилизирован и находится в заданных пределах.

5.14 Описание хода работы с системой компенсации весовой составляющей штанг антенн

5.14.1 Компенсация весовой составляющей при горизонтальной раскладке

Выполнить зацепление согласно раздела 6.

Ввести значение компенсируемого веса в поле задания компенсируемого веса. По нажатию на данное поле откроется окно, в которое необходимо ввести требуемое значение компенсируемого веса при помощи виртуальной клавиатуры.

Убедитесь в вертикальном положении подвеса.

Перед началом компенсации убедитесь в правильности введенного значения.

Нажать кнопку запуска режима компенсации.

Работа СКВС переходит в автоматический режим, оператору необходимо отслеживать текущие показания веса, сравнения его с заданным значением. Внимательно следить за движением груза, особенно в предельных верхних точках.

Визуально наблюдать натяжку и при необходимости корректировать значение компенсируемого веса.

Корректировку можно осуществлять двумя способами:

1) непосредственный ввод значения в поле задания компенсируемого веса.

2) запись текущего значения веса осуществляется по нажатию на кнопку «Запись», расположенную слева от поля ввода компенсируемого веса. По нажатию на кнопку «Запись» значение поля «Вес груза» автоматически заносится в поле «Компенсированный вес».

Экстренная остановка СКВС осуществляется нажатием кнопки «Останов.компенсации», а также кнопкой «Аварийный стоп», расположенной на лицевой стенке шкафа управления.

При остановке компенсации система автоматически перейдет в режим удержания, в котором будет поддерживать заданные коэффициенты весовой составляющей сегментов антенны.

5.14.2 Компенсация весовой составляющей при вертикальной раскладке

Компенсация весовой составляющей при вертикальной раскладке:

- 1) выполнить п.9.1 горизонтальной раскладки.
- 2) открыть меню записи весовой характеристики.
- 3) открыть меню «Таблица ВХ» см.п.8. В меню «таблица ВХ» удалить все предыдущие данные по нажатию на кнопку «Удалить». Для удаления данных необходимо нажать и удерживать данную кнопку в течении 10 сек.
- 4) разбейте траекторию раскрытия (опускания) на 10 частей.
- 5) в меню «Весовая характеристика» кнопками «<<» и «>>» выберите точку №0.
- 6) осуществите запись текущих данных по нажатию на кнопку «Запись». При этом в таблице ВХ заполнится строчка данных для точки №0 и аналогичные данные зафиксируются в окнах индикации текущего меню.
- 7) для перехода к следующей точке введите значение компенсируемого веса меньше текущего на 500 или более грамм, при этом система начнет опускание объект (штанги) с учетом компенсации углов отклонения.
- 8) осуществите переход в меню «Весовая характеристика» к следующей точке по нажатию на кнопку «>>».
- 9) осуществите запись текущих данных по нажатию на кнопку «Запись». При этом в таблице ВХ заполнится строчка данных для выбранной точки и аналогичные данные зафиксируются в окнах индикации текущего меню.
- 10) выполните последовательность действий с п. 7 – п.9 для всех 10 точек.

Заполнение таблицы ВХ необходимо всегда начинать с точки №0.

По окончанию заполнения «Таблица ВХ» выполните запуск вертикальной раскладки по нажатию на кнопку «Вертикальная раскладка» на экране режима компенсации.

5.14.3 Завершение работы с системой компенсации весовой составляющей штанг антенн

По завершению работ с СКВС штанг антенн необходимо остановить компенсацию весовой составляющей нажатием кнопки «Останов компенсации».

Перевести СКВС штанг антенн в исходное положение (определяет цех-заказчик согласно технологического процесса).

- 1) отстыковать груз.
- 2) перейти на стартовый экран.

- 3) отключить шкаф управления от питающей электрической сети с помощью кнопки «Ввод. ОТКЛ.».
- 4) отсоединить вилку питания.
- 5) отключение силового питания необходимо производить только по окончании работы или при возникновении аварийной ситуации, предотвратить которую невозможно кнопками управления на панели оператора. Если питание было отключено во время работы, то привода могут выдать ошибку и остановиться. Сброс ошибок производится нажатием кнопки "Сброс".

6 Механический анализ конструкции системы обезвешивания

6.1 Теоретические сведения для расчета прочности

Задача расчетов на прочность состоит в теоретическом определении напряженно-деформированного состояния и запаса прочности конструкции от воздействия расчетных нагрузок.

Расчеты на прочность должны быть проведены по допускаемым напряжениям с определением запаса прочности η для элементов конструкции.

Коэффициент запаса прочности вычисляется по формуле:

$$\eta = \frac{[\sigma]}{\sigma_{\text{экв}}}, \quad (1)$$

где η – коэффициент запаса прочности;

$[\sigma]$ – допускаемые напряжения;

$\sigma_{\text{экв}}$ – расчетные эквивалентные напряжения.

За допускаемые напряжения для изотропных материалов принимается предел текучести с учетом коэффициента безопасности.

$$[\sigma] = \frac{\sigma_{0,2}}{k}, \quad (2)$$

где k – коэффициент безопасности при расчетах по пределу текучести, принимается равным 1,3;

$\sigma_{\text{экв}}$ – расчетные эквивалентные напряжения.

6.2 Исходные данные для расчета

Материалы:

– АДЗ 1:

Модуль упругости равен 70 ГПа;

Коэффициент Пуассона: 0,35;

Предел текучести $\sigma_{0,2}$ равен 60 МПа

– Сталь 20:

Модуль упругости равен 200 ГПа;

Коэффициент Пуассона: 0,3;

Предел текучести $\sigma_{0,2}$ равен 200 МПа

3D – модель представлена на рисунке 32

Масса груза – 50 кг

Масса противовеса 250 кг.



Рисунок 32 – Исходная 3D –модель

6.3 Описание конечно-элементной модели

Конечно-элементная модель (далее по тексту: КЭМ) реализована в системе моделирования и конечно-элементного анализа конструкций – FemapwithNXNASTRAN 2021.

Для создания КЭМ использована конструкторская 3D - модель (Рисунок 2). КЭМ создавалась исходя из геометрических параметров 3D – модели.

Для создания КЭМ были использованы следующие конечные элементы:

- тип PLATE- для моделирования пластин усиления;
- тип BEAM – для моделирования труб и балок;
- тип RIGID – для моделирования соединений.

Крепление осуществлено в месте крепления основания по шести степеням свободы.

Система координат в соответствии с общим видом КЭМ.

Общий вид КЭМ показан на рисунке 33.

КЭМ нагружена в соответствии со схемой показанной на рисунке 34 и находится под действием ускорения свободного падения.

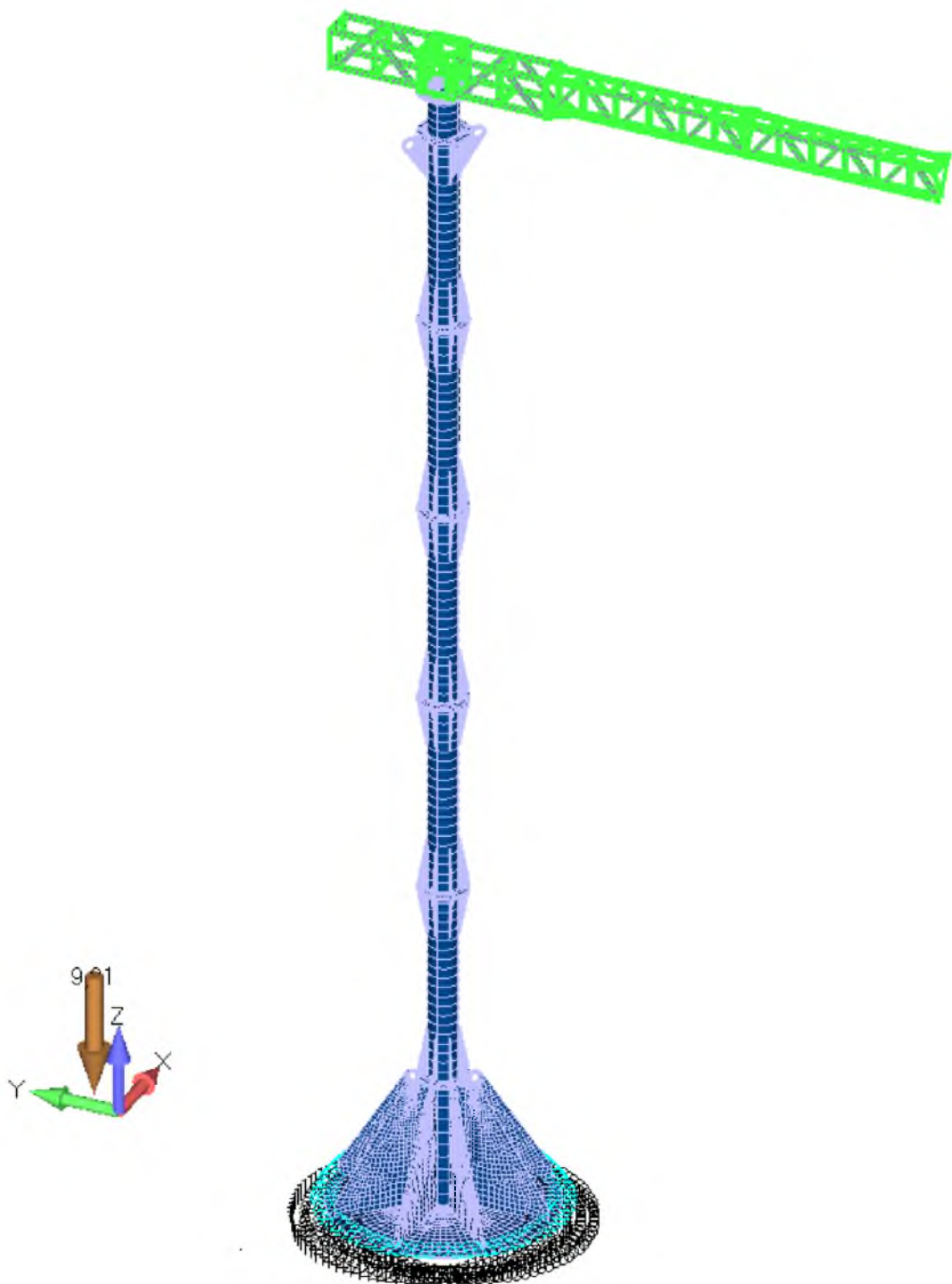


Рисунок 33 – Общий вид КЭМ

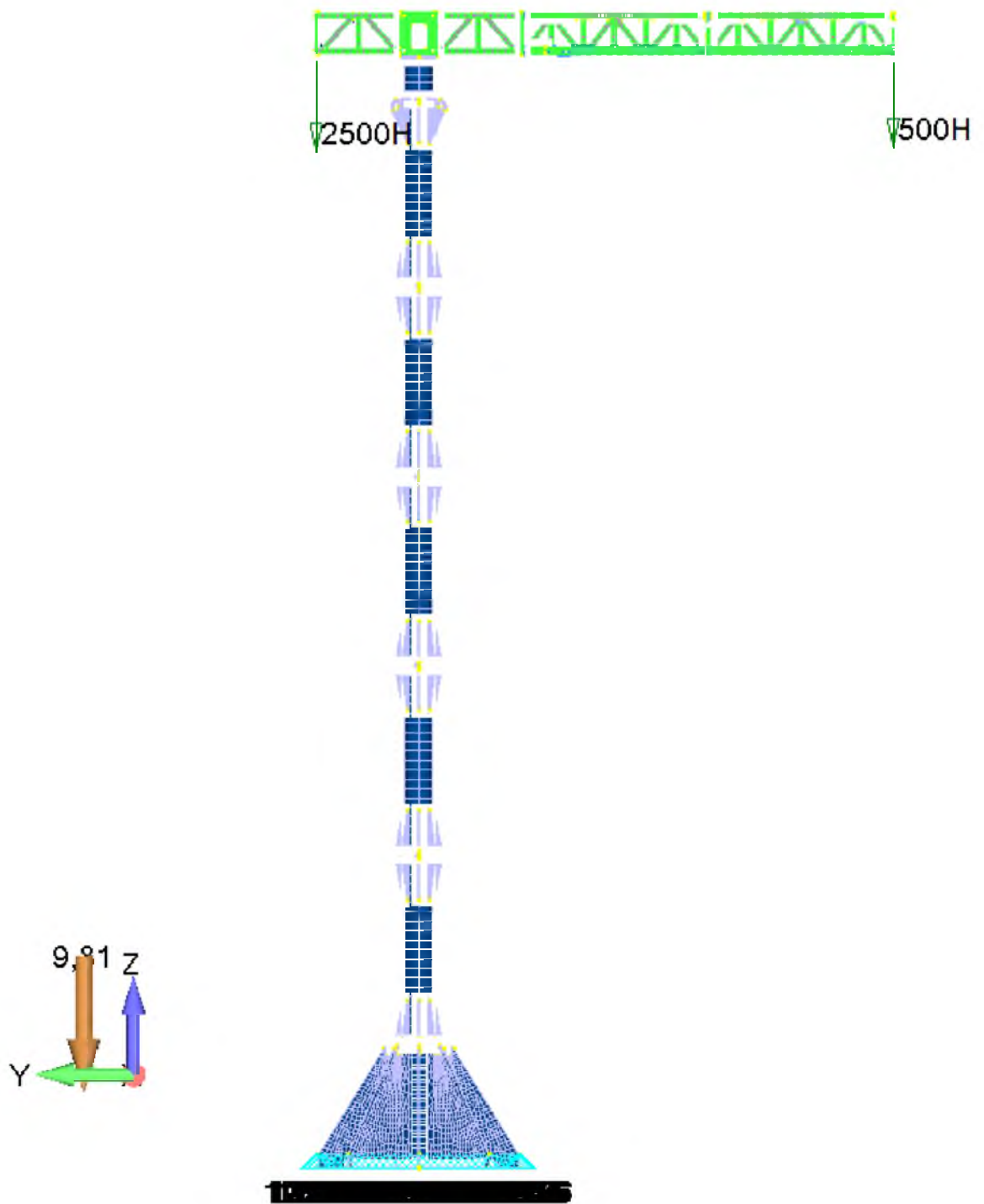


Рисунок 34 – Схема нагружения

6.4 Результат расчета

От приложенных нагрузок деформация фермы в направлении оси Z составляет 0,02м.

Деформированная форма конструкции с 50-ти кратным масштабом деформации показана на рисунке 35.



Рисунок 35 - Деформированная форма конструкции

Максимальные эквивалентные напряжения $\sigma_{\text{ЭКВ}}$ в элементах из алюминиевого сплава равны 20Мпа, данные напряжения показаны на рисунке 36.

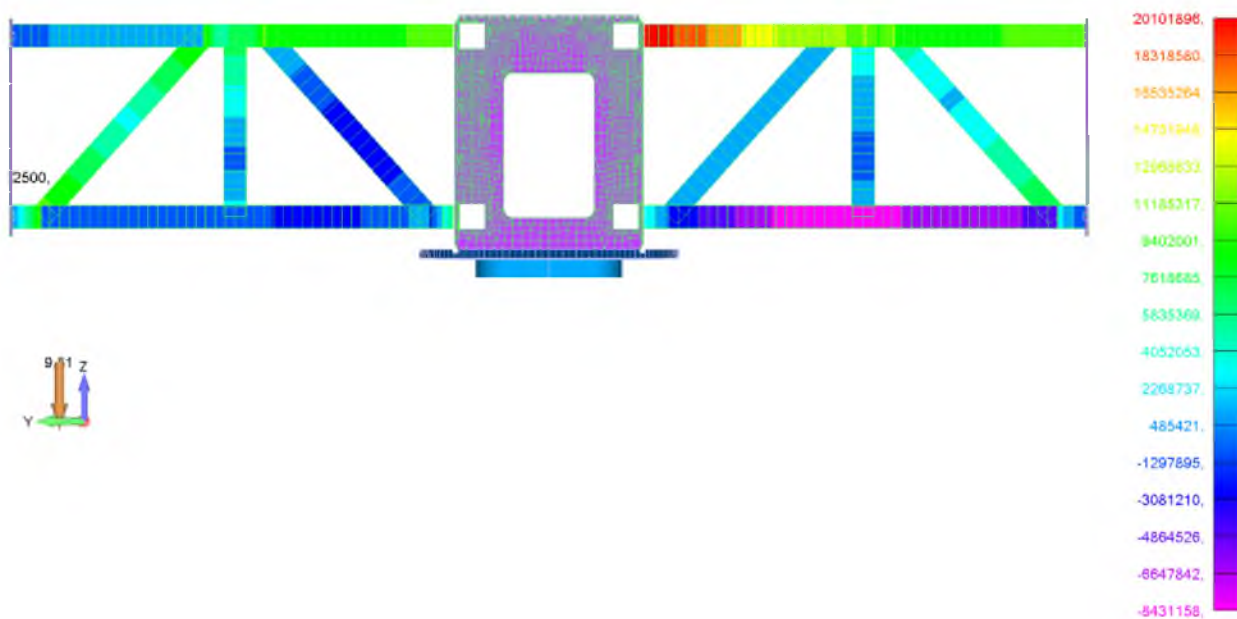


Рисунок 36 – Максимальные эквивалентные напряжения в элементах из алюминиевого сплава

Максимальные эквивалентные напряжения в стальных элементах $\sigma_{\text{ЭКВ}}$ равны 66Мпа, данные напряжения показаны на рисунке 37

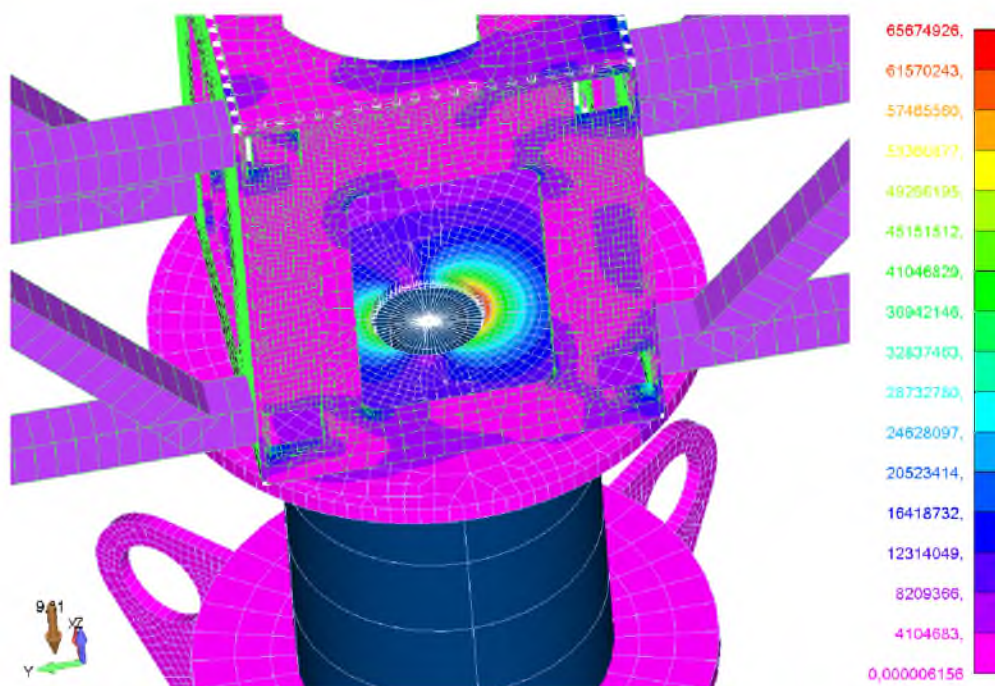


Рисунок 37 – Максимальные эквивалентные напряжения в элементах из стали

Исходя из полученных эквивалентных напряжений, коэффициент запаса прочности для элементов конструкции из алюминиевого сплава равен

$$\eta = \frac{60 \text{ МПа}}{20 \text{ МПа}} = 3.$$

Коэффициент запаса прочности для элементов конструкции из стали равен

$$\eta = \frac{200 \text{ МПа}}{66 \text{ МПа}} = 3.$$

Анализ полученных результатов показывает, что прочность конструкции обеспечивается.

7 Вывод

Разработанная мною система обезвешивания обладает оригинальной конструкцией. Данная конструкция принципиально отличается от своих аналогов и отвечает всем предъявляемым требованиям.

После проведения механического анализа мы убедились, что данная конструкция выдержит нагрузку в 500Н

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

АО – акционерное общество;
АРН – аппаратура радионавигации;
АФУ – антенно – фидерные устройства;
БК – блок коррекции;
БМ СНА – блок механический системы наведения антенн;
БН – блок наддува;
БПК – блок подачи ксенона;
БТК – бюро технического контроля;
БУ – блок управления;
БЭК – безэховая камера;
ВЧ – высокочастотный;
ВП – военное представительство;
ГОСТ – государственный отраслевой стандарт;
ДБ – двигательный блок;
ДНС – датчик направления на Солнце;
ЖТ – жидкостный тракт;
ЗД – статистический Земной датчик;
КА – космический аппарат;
КБВД – ксеноновый бак высокого давления;
КВП – коаксиально – волноводный переход;
КД – конструкторская документация;
КИС – командно – измерительная система;
КЮР – контрольно – юстировочные работы;
МБТ – межблочные трубопроводы;
МИК – монтажно – испытательный комплекс;
МПН – модуль полезной нагрузки;
МСС – модуль служебных систем;
МУ – механическое устройство;
НЧ – низкочастотный;
ОПУ – опорно–поворотное устройство;
ОСО-С – оптический солнечный отражатель с серебряным покрытием;
ОТК – отдел технического контроля;
ПН – полезная нагрузка;
ПП – пирапотрон;
ПС – переходная система;
РМ – рабочее место;
РЭ – руководство по эксплуатации;
СБ – сборочный чертёж;
СД – статический солнечный датчик;
СНА – система наведения антенн;
СОС – система ориентации и стабилизации;
СИЗ – средства индивидуальной защиты;

СК – система коррекции;
СКК – силовая конструкция корпуса;
СТИ – статические испытания;
СТО – средства технического оснащения;
ТБИ – термобалансные испытания;
ТВИ – тепловакуумные испытания;
ТО – техническое обслуживание;
ТУ – технические условия;
ЭВТИ – экранно-вакуумная теплоизоляция;
ЭО – электрообогреватель;
ЭС – электронные системы;
ШУ – шарнирные устройства;
МУ – механические устройства;
СКВС – система компенсации весовой составляющей.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Тестоедов, Н.А. Технология производства космических аппаратов : учебное пособие / Н.А. Тестоедов [и др.]. – Красноярск, 2009. – 352 с.
- 2 Чеботарев, В. Е. Проектирование космических аппаратов систем информационного обеспечения / В. Е. Чеботарев. – Красноярск: Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т., 2005. – 168 с.
- 3 Ковалев, И.В., Кикоть Ю.О. Мобильная система имитации невесомости для крупногабаритных космических аппаратов // Вестник СибГАУ. 2014. Вып. 4(56). С. 173 – 178
- 4 Новиков, М. П. Основы технологии сборки машин и механизмов / М. П. Новиков. – Москва : Машиностроение, 1960. – 592 с.
- 5 Беляков, И. Т. Общие вопросы технологии сборки, монтажа и испытаний ЛА/ под ред. И. Г. Белякова ; Москва авиац. ин-т. – Москва, 1961. – 102 с.
- 6 Егоров, М. Е. Технология машиностроения Учебник для вузов / М. Е. Егоров. – Москва : «Высш. Школа», 1976. – 534 с.
- 7 Кузнецов, А. А. Вибрационные испытания элементов и устройств автоматики: учебное пособие / А. А. Кузнецов. – Москва : Энергия, 1976. - 120с.
- 8 Беляков, И. Т. Технологическая подготовка производства ЛА: учебное пособие / под ред. И. Т. Белякова. - Москва : авиац. Ин-т, 1981. – 280 с.
- 9 Алферов, Т. К. Технологичность конструкций изделий : справочник / Т. К. Алферов, Ю. Д. Амиров, П. Н. Волков. – Москва : Машиностроение, 1985. – 368 с.
- 10 Тестоедов, Н. А. Экспериментальная отработка космических аппаратов на механические воздействия: книга / Н. А. Тестоедов, Е. А. Лысенко ; Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. – Красноярск, 2008. – 152 с. - ISBN 978-5-86433-354-9.
- 11 Чеботарев, В. Е. Основы проектирования космических аппаратов информационного обеспечения: учебное пособие / В.Е. Чеботарев, В.Е. Косенко: Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. – Красноярск, 2011. – 488 с. - ISBN 978-5-86433-510-9
- 12 Останин, Л. М. Технологические процессы в машиностроении : курс лекций / Л. М. Останин, М. К. Юлдашев, - Казань : ФГБОУ ВПО «КНИТУ», 2012. – 100с. – ISBN 978-5-7882-0920-3.
- 13 Микрин, Е.А. Бортовые комплексы управления космических аппаратов: учебное пособие / Е.А. Микрин. - Москва: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014. – 245 с.
- 14 Виноградов, В.М. Автоматизация технологических процессов и производств: учебное пособие / В.М. Виноградов НИЦ ИНФРА-М 2014-192с.
- 15 Марголит, Р.Б. Технология машиностроения: учебное пособие / Р.Б. Марголит. – Москва: Издательство Юрайт, 2019. – 413с.

16 Карманова, А.В. Разработка проекта силовой конструкции модуля бортовой аппаратуры для применения многовыводных электронных компонентов / А.В. Карманова, Ю.А. Петрова, А.А. Хвалько // Материалы XXIV Международной научно-практической конференции, посвященной памяти генерального конструктора ракетно-космических систем академика М.Ф. Решетнева «Решетневские чтения» Ч.1. – Красноярск: СибГУ, 2020г. – С. 90 - 92.

17 Миронов, С.Н. Основные этапы подготовки космических аппаратов к транспортировке на космодром / С.Н. Миронов, Ю.А. Петрова // Материалы XXV Международной научно – практической конференции, посвященной памяти генерального конструктора ракетно – космических систем академика М.Ф. Решетнева «Решетневские чтения»: Издательство СибГУ им. М.Ф. Решетнева – Красноярск, 2021.

18 Петрова, Ю.А. Технология контроля сборки и испытаний космических аппаратов в монтажно – испытательном комплексе / Ю.А. Петрова, С.Н. Миронов, А.И. Осинцев, Е.Г. Сорокина // Материалы XXV Международной научно – практической конференции, посвященной памяти генерального конструктора ракетно – космических систем академика М.Ф. Решетнева «Решетневские чтения»: Издательство СибГУ им. М.Ф. Решетнева – Красноярск, 2021.

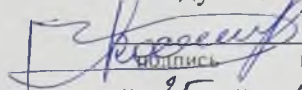
Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Политехнический институт
институт

Межинститутская базовая кафедра
«Прикладная физика и космические технологии»
кафедра

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой


подпись В.Е. Косенко
инициалы, фамилия

« 25 » 06 2023 г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

«Разработка силовой конструкции системы обезвешивания антенн космических аппаратов для высокочастотных наземных испытаний»

тема

15.04.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение


машиностроительных производств»

код и наименование направления

15.04.05.02 «Технологии производства космических аппаратов»

код и наименование магистерской программы

Научный
руководитель

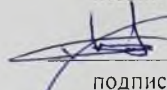

подпись, дата 25.06.23 профессор МБК ПФиКТ
д-р техн. наук

должность, ученая степень

А.К. Шатров

инициалы, фамилия

Выпускник

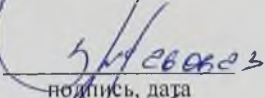

подпись, дата 27.06.23

подпись, дата

С.Н. Миронов

инициалы, фамилия

Рецензент

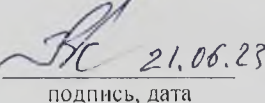

подпись, дата 27.06.23 начальник, тех-бюро цеха
№ 037 АО «РЕШЕТНЁВ»

должность, ученая степень

Р.П. Простакишин

инициалы, фамилия

Нормоконтролер


подпись, дата 21.06.23 профессор МБК ПФиКТ
д-р техн. наук, доцент

должность, ученая степень

В.Е. Чеботарев

инициалы, фамилия

Красноярск 2023