****

**Конкурсное задание**

**Компетенция**

**«Инженерия космических систем»**

«Проектирование, сборка и наземные испытания функциональной модели микроспутника дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ)»

Конкурсное задание включает в себя следующие разделы:

1. Введение
2. Формы участия в конкурсе
3. Задание для конкурса
4. Модули задания и необходимое время
5. Критерии оценки
6. Необходимые приложения

Количество часов на выполнение задания:17ч.

Разработано экспертами WSR :

Макаров А.А.

Страна: Россия

## ВВЕДЕНИЕ

1.1. Название и описание профессиональной компетенции.

1.1.1 Название профессиональной компетенции: Инженер космических систем

1.1.2. Описание профессиональной компетенции.

Сложность задач, решаемых при создании малых спутников, часто бывает сопоставима со сложностями при создании больших космических аппаратов, поэтому коллектив разработчиков таких аппаратов должен состоять из высококвалифицированных инженеров, исследователей, администраторов, способных в сжатые сроки определить потребности рынка, понять возможности их решения с помощью космических систем, понять коммерческие перспективы проекта, определить круг потенциальных потребителей, составить техническое задание, собрать команду проекта, провести необходимые поисковые работы, выполнить проектирование и производство космической системы, а также ее испытания и развертывание. В силу малости команды каждый разработчик имеет широкие полномочия в принятии решений, несет полную ответственность за существенную часть работ по проекту, ведя свою системную задачу от идеи и до эксплуатации на орбите.

Таким образом, современный специалист в области инженерии космических систем должен владеть основами методов проектирования полезных нагрузок и служебных систем космических аппаратов, знать основы баллистики, динамики космического полета, теории надежности, принципов проведения испытаний, иметь представление об электронике, материаловедении и даже основах экономики и организации труда.

1.2. Область применения

1.2.1. Каждый Эксперт и Участник обязан ознакомиться с данным Конкурсным заданием.

1.3. Сопроводительная документация

1.3.1. Поскольку данное Конкурсное задание содержит лишь информацию, относящуюся к соответствующей профессиональной компетенции, его необходимо использовать совместно со следующими документами:

• «WorldSkills Russia», Техническое описание. Инженерия космических систем;

• «WorldSkills Russia», Правила проведения чемпионата

• Принимающая сторона – Правила техники безопасности и санитарные нормы.

## 2. ФОРМЫ УЧАСТИЯ В КОНКУРСЕ

Командный конкурс – 3 человека в команде.

## 3. ЗАДАНИЕ ДЛЯ КОНКУРСА

Необходимо спроектировать, собрать из стандартных компонентов, а затем испытать на специальном стенде функциональный макет микроспутника, предназначенного для дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). Описание стандартного набора компонент «ОрбиКрафт», из которых собирается спутник, представлено здесь: <http://wiki.orbicraft.ru/doku.php>. Описание стенда, в составе которого должны быть проведены испытания макета, приведено здесь: <http://sputnix.ru/ru/products/test-stands-system/item/244-adcs_stands_sx_25_ru>

В качестве профессиональной альтернативы набору «ОрбиСат», может быть использован стандартный набор компонент «Таблетсат-Аврора-LL» и комплексе со стендом полунатурного моделирования SX-150 (<http://sputnix.ru/ru/products/test-stands-system/item/259-facility-gnd-120-ru>).

Далее в описании по умолчанию всюду подразумевается наличие набора «ОрбиСат» или «Таблетсат-Аврора-LL». Если пункт задания имеет отношение только к «Таблетсат-Аврора-LL»,это оговаривается отдельно.

Непосредственно перед соревнованиями каждой команде выдается стандартный набор «ОрбиСат» (или «Таблетсат-Аврора-LL») и озвучиваются следующие вводные:

* параметры орбиты спутника: в любом случае она остается низкой круговой солнечно-синхронной, но высота может измениться в диапазоне 400...800 км, а местное время LTAN меняться в диапазоне 09:00...12:00,
* географическое положение и число центров управления полетом (ЦУП): задается число (от 1 до 3) и географические координаты каждого из ЦУПов;
* количество и географическое положение объектов для съемки разрабатываемым спутником: задается число (от 1 до 3) и координаты каждого из этих мест;

В конечном итоге, собранный аппарат должен пройти испытания на стенде полунатурного моделирования и подтвердить свою работоспособность. Собранный макет быть максимально производительным (эффективным): обеспечить получение Центрами управления полетом максимально оперативно как можно большего количества изображений заданных географических областей в течение заданного срока активного существования. Важно подчеркнуть, что данный параметр подтверждается расчетным путем в конце соревнований судейской командой, основываясь на результатах проектирования и наземных испытаний созданной инженерной модели спутника.

Конкурсное задание должно выполняться помодульно. Оценка также происходит от модуля к модулю. Конкурс, включает в себя сборку проектирование и микроспутника, его функциональные испытания, испытания на внешние воздействия, а также адаптацию на ракету-носитель.

## 4. МОДУЛИ ЗАДАНИЯ И НЕОБХОДИМОЕ ВРЕМЯ

Модули и время сведены в таблице 1

Таблица 1.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| № п/п | Наименование модуля | Рабочее время | Время на задание |
| 1 | Модуль 1. A. Проектирование спутника | С1 15.00-18.00  С2 10.00-13.00 | 3 часа  3 часа |
| 2 | Модуль 2. B. Сборка спутника и оценка массо-инерционных характеристик, а также характеристик системы управления | С2 14.00-18.00 | 4 часа |
| 3 | Модуль 3. C. Автономные испытания аппарата | С3 10.00-12.00 | 2 часа |
| 4 | Модуль 4. D. Функциональные испытания. Оценка возможности выполнения спутником поставленной задачи. | С3 12.00-13.00  С3 14.00-17.00 | 1 часа  3 часа |
| 5 | Модуль 5. E. Оценка стоимости проекта. Качество оформления документации. Культура производства | C3 17.00-18.00  С1-C3 14.00-18.00 | 1 час  С1-С3 |

**Модуль 1. Проектирование спутника**

Системный инженер рассчитывает количество сеансов съемки, количество сеансов связи с использованием ПО типа STK (https://en.wikipedia.org/wiki/Systems\_Tool\_Kit). оценивает циклограмму работы спутника на орбите с учетом полученных исходных данных. На основании информации о полученной циклограмме работы бортовых систем рассчитывает циклограмму работы системы энергопитания (СЭП) с использованием Sputnix Satellite Modeler: Remix(SSSR) (<http://sputnix.ru/ru/technologies/numerical-simulation>). По этим данным он вместе с инженером-электронщиком оцениваетпараметры аккумуляторной батареи, размеры солнечных батарей.

Инженер-конструктор выполняет 3D-моделирование элементов корпуса малого КА – спутника ДЗЗ в ПО типа SolidWorks, а затем3D-сборку модели аппарата, используя предоставленные в качестве исходных данных 3D-модели всех имеющихся в распоряжении приборов и систем, с учетом требований соотношения моментов инерции, положения центра масс (для проведения испытаний на стенде полунатурного моделирования), полей зрения датчиков ориентации, системе раскрытия солнечных батарей и других требований, специфичных для выполняемой спутником задачи. При выполнении 3D-сборки необходимо учитывать истинный вес элементов конструкции (материал изготовления корпуса), приборов и датчиков, используя для этой цели малогабаритные точные весы и возможности программного комплекса SolidWorks. Также выполняется сохранение результатов моделирования элементов корпуса спутника, навесного оборудования в расширениях, необходимых для работы на 3Dпринтерах и станках лазерной резки.

Программист разбирается с выбором языка программирования (C, C++, Python), архитектурой бортового программного обеспечения, средой разработки, способом сборки, прошивки, отладки бортового программного обеспечения.

Специалист по системе ориентации и стабилизации выполняет численное моделирование движения спутника по орбите с использованием открытого программного обеспечения SSSR, подбирая оптимальные по быстродействию коэффициенты управления PD-регулятора маховичной системы ориентации и стабилизации, использующей в качестве датчиков ориентации солнечные датчики и магнитометр. В последующем эти коэффициенты должны быть прошиты в бортовое ПО управления функционального макета аппарата.

Кроме PD-регулятора, проводится численное моделирование работы магнитной системы стабилизации, использующей в качестве исполнительных элементов электромагнитные катушки, а в качестве датчика – магнитометр, с целью подбора коэффициентов управления электромагнитными катушками и соотношений длительностей между работой катушек и измерениями магнитометра.

Необходимо обратить внимание на правильность компоновки с точки зрения работы бортовых систем и проведения испытаний на аэродинамическом подвесе; расхождение центра масс спутника с нулевыми показателями; наличие и качество проекта бортовой кабельной сети; правильность составления расчетных моделей в ПО SSSR; наличие технологической карты сборки аппарата; результат расчета коэффициентов управления PD-регулятора; результат расчетов работы магнитной системы стабилизации; адекватность составления циклограммы работы спутника на орбите и соответствующая бортовая программа для наземных автономных «настольных» испытаний макета; оценка стоимости спутника. Проверяется качество кода системного программиста.

**Модуль 2**. **Сборка спутника**

Перед сборкой спутника программист проводит автономные тестирования блоков спутника с использованием ПО Центра управления полетом (из состава «ОрбиСат»), собственных заготовок ПО и примеров «из коробки» конструктора «ОрбиСат», а также собственных примеров, разработанных накануне. После этого он приступает к реализации бортовой циклограммы работы, а также к настройке бортовых алгоритмов ориентации и стабилизации, которые впоследствии нужно будет проверить на стенде полунатурного моделирования.

Конструктор проверяет и документирует проект бортовой кабельной сети, в частности, указывая длину кабелей, требуемую распиновку. Затем он вместе с электронщиком выполняет ее изготовление (большинство кабелей – под обжим, три-пять самых длинных – под пайку).

После этого начинается сборка аппарата, для чего работа переносится в чистую комнату (условно чистая комната с ограничением доступа и требованием соблюдать правила нахождения в чистой комнате класса 100000). Все необходимые приборы, конструктив, крепеж, инструмент и вспомогательная оснастка заносятся в чистую комнату. Здесь конструктор с электронщиком собирают спутник на столе в соответствии с ранее разработанной моделью,согласно технологической карте сборки.

Все работы ведутся по правилам работ в чистых комнатах класса 100000. Судьями контролируются заполнение бланков программ и методик испытаний, качество изготовления кабелей (пайка, наличие термоусадки, наличие маркировки) и кабельной сети (хомутовка), правильность финальной сборки аппарата (соответствие чертежам), соответствие последовательности сборки технологической карте; соответствие кабельной сети документации; использование заземляющих браслетов, защитных очков; наличие халатов, шапочек, бахил, перчаток; снятие и установка предохранительных кожухов.

**Итог:**макет спутникаполностью собран и находится в чистой комнате.

**Модуль 3.Автономные испытания аппарата**

Затем (или параллельно) программист выполняет пошаговое тестирование всех бортовых приборов в составе макета, используя разработанное им «стендовое» ПО. Далее аппарат тестируют «на столе» по заложенной программистом циклограмме работы: маховики крутятся, передатчик передает, приемник принимает, камера снимает, СЭП работает, батареи разряжаются и заряжаются, солнечный датчик реагирует на свет, датчик угловой скорости адекватно измеряет угловую скорость.

Далее программист прошивает на борт все коэффициенты управления, выбранные в процессе численного моделирования. Затем занимается составлением блок-схемы работы бортового ПО, реализующего циклограмму работы во время комплексных испытаний КА.

Электромагнитную катушку магнитной системы стабилизации потребуется продиагностировать. Прибор проверяется электронщиком автономно, с использованием специального блока управления, осциллографа и магнитометра, с целью определить ее собственный магнитный момент.

Необходимо обратить внимание на правильность контроля работоспособности всех приборов по отдельности в соответствии с программой-методикой испытаний (ПМИ), результат диагностики электромагнитной катушки, правильность заполнения форм ПМИ; срабатывание механизма раскрытия солнечных батарей; наличие оформленной блок-схемы работы бортового ПО.

**Итог:** спутник собран, проверен, стоит в «чистой комнате» в ожидании этапа проведения комплексных испытаний на стенде полунатурного моделирования.

**Модуль 4.Функциональные испытания. Оценка возможности выполнения спутником поставленной задачи**

Спутник выносят из «чистой» комнаты и устанавливают на стенд полунатурных испытаний, пока неподвижно. Затем участники контролируют на неподвижном стенде:

* Собственную намагниченность аппарата: программист, электронщик и конструктор определяют собственное магнитное поле аппарата и потенциальные источники магнитного поля внутри него; вносят соответствующие поправки измерений бортового магнитометрав бортовое ПО;
* Правильность установки механизма раскрытия солнечных батарей, датчиков ориентации и исполнительных элементов: адекватность, размерность единиц и правильность показания направления на источник света (прожектор) в измерениях солнечных датчиков; адекватность, правильность размерности единиц, и правильность измерений датчика угловой скорости (неподвижный спутник, спутник равномерно вращается), а также и магнитометра (с включенным вдоль заданного направления имитатором магнитного поля стенда полунатурных измерений); адекватность работы электромагнитных катушек бортовой магнитной системы стабилизации (правильная полярность); адекватность, управляемость двигателя-маховика (правильность направления вращения маховика, адекватность измерений скоростей вращения и частоты их выдачи).

Затем приступают к испытаниям на подвижном стенде:

* проверяют балансировку макета на аэроподвесе: если положение центра масс выше центра вращения, дальше испытания можно не проводить, т.к. ничего не получится;
* включают магнитное поле, проверяют работоспособность магнитной системы демпфирования угловой скорости;
* включают прожектор и контролируют правильность реакции системы управления на источник света (должен начать разворачиваться на аэроподвесе в нужную сторону с использованием маховиков);
* проверяют правильность работы системы определения ориентации спутника по трем осям по показаниям магнитометра и солнечного датчика,
* проверяют возможность разворота макета в заданном направлении с использованием маховиков: задают целеуказание, контролируют скорость разворота на аэроподвесе; точность удержания цели после отработки требуемого разворота.
* работу бортовой системы управления по циклограмме: разворот, фотографирование, передачу фотографии на Землю в Центр управления полетом.
* качество изображения, полученного с камеры: ориентация, четкость,
* число хороших изображений, полученных за заданный интервал времени.

Судьи контролируют качество балансировки макета на аэроподвесе; точность измеряемых величин путем сравнения с эталонами; количественные параметры работы системы управления (быстродействие, точность), качество и объем полученных с «борта» данных камеры.

**Модуль 5. Оценка стоимости проекта. Качество оформления документации. Культура производства**

Параллельно с работой по сборке, испытаниям аппарата выполняется оценка стоимости создания настоящего микроспутника с функциональными характеристиками, аналогичными требуемым в проекте. Методика расчета основана на модели стоимости SmallSatelliteCostModel (http://www.aerospace.org/research/space-systems-infrastructure/small-satellite-cost-model/), формулы которой предоставляются участникам. Оценивается стоимость разработки, изготовления, наземных испытаний, запуска и эксплуатации первого опытного образца малого спутника, а также стоимость его отдельных подсистем. Результаты расчета должны быть оформлены в виде отчета.

Документация оформляется участниками в процессе выполнения работы, от ее качества зависит, поймет ли сторонний наблюдатель, зачем создан тот или иной документ и пригоден ли для дальнейшей работы. Любой документ должен иметь название, авторов, дату создания, версию, оглавление, нумерацию страниц. По сути, он должен включать введение, постановку задачи, ход эксперимента, иллюстрации, выводы, заключение и список литераторы, хотя в каждом конкретном случае состав оглавления может различаться.

Культура производства подразумевает пунктуальность, правильное использование инструмента, экономное расходование ресурсов и материала, работу в халатах, в перчатках и с заземлением (когда это необходимо), чистоту и порядок на рабочем месте.

## 5. Критерии оценки

В данном разделе определены критерии оценки и количество начисляемых баллов (субъективные и объективные) таблица 2. Общее количество баллов задания/модуля по всем критериям оценки составляет 100.

Таблица 2.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Раздел | Критерий | Оценки | | |
| Субъективная | Объективная | Общая |
| А | Твердотельное моделирование | 0 | 25 | 25 |
| В | Сборка и оценка характеристик | 0 | 25 | 25 |
| С | Автономные испытания | 0 | 20 | 20 |
| D | Возможность выполнения спутником поставленной задачи | 0 | 25 | 25 |
| Е | Оценка стоимости проекта. Качество оформления документации. Культура производства | 0 | 5 | 5 |
| Итого = | | 0 | 100 | 100 |

**Субъективные оценки -** Не применимо.

*НЕОБХОДИМЫЕ ПРИЛОЖЕНИЯ*

В данном разделе приведены основные чертежи, фото, эскизы необходимые для визуального понимания задания.

Приложение 1. Пример задания для программы SXModeler. Данные заполняются в день С-2 и утверждаются экспертами (входит в 30%-ое изменение КЗ)

1. имя сценария

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **Вариант 1** | **Вариант 2** | **Вариант 3** | **Вариант 4** | **Вариант 5** |
| **Имя сценария** | Var1 | Var2 | Var3 | Var4 | Var5 |

2. имя спутника

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **Вариант 1** | **Вариант 2** | **Вариант 3** | **Вариант 4** | **Вариант 5** |
| **Имя спутника** | Chibis-M | Chibis-M | Chibis-M | Chibis-M | Chibis-M |

3. время начала моделирования

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **Вариант 1** | **Вариант 2** | **Вариант 3** | **Вариант 4** | **Вариант 5** |
| **Время начала моделирования,**  **ГГГГ/ММ/ДД**  **ЧЧ:ММ:СС**  **(UTC)** | 2016/10/18  12:00:00 |  |  |  |  |

4. Параметры орбиты

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **Вариант 1** | **Вариант 2** | **Вариант 3** | **Вариант 4** | **Вариант 5** |
| **Тип модели** | кеплерова |  |  |  |  |
| **Наклонение, градусы** | 97.9371 |  |  |  |  |
| **Эксцентриситет** | 0.005 |  |  |  |  |
| **Аргумент перицентра, градусы** | 25 |  |  |  |  |
| **Параметр орбиты, м** |  |  |  |  |  |
| **Долгота восходящего узла, градусов** | 108 |  |  |  |  |
| **Время с момента последнего прохождения перицентра, сек** | 600 |  |  |  |  |

5. Координаты зоны съемки

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **Вариант 1** | **Вариант 2** | **Вариант 3** | **Вариант 4** | **Вариант 5** |
| **Название** | Москва |  |  |  |  |
| **Широта, град** | 55.44 сш |  |  |  |  |
| **Долгота, град** | 37.35 вд |  |  |  |  |

6. координаты приемной станции

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **Вариант 1** | **Вариант 2** | **Вариант 3** | **Вариант 4** | **Вариант 5** |
| **Название** | Уссурийск |  |  |  |  |
| **Широта** | 43.8 сш |  |  |  |  |
| **Долгота** | 131.9 вд |  |  |  |  |

7. Характеристики спутника

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **Вариант 1** | **Вариант 2** | **Вариант 3** | **Вариант 4** | **Вариант 5** |
| **Масса** | 20 |  |  |  |  |
| **Момент инерции Jxx, кг\*м2** | 0,4 |  |  |  |  |
| **Момент инерции Jyy, кг\*м2** | 0,4 |  |  |  |  |
| **Момент инерции Jzz, кг\*м2** | 0,5 |  |  |  |  |
| **Максимальный недиагональный элемент, кг\*м2** | 0.003 |  |  |  |  |
| **Макс.погрешность опред.Jij, %** | 3 |  |  |  |  |
| **Габарит по оси X, м** | 0.4 |  |  |  |  |
| **Габарит по оси Y, м** | 0.4 |  |  |  |  |
| **Габарит по оси Z, м** | 0.3 |  |  |  |  |
| **Положение центра масс X, м** | 0.004 |  |  |  |  |
| **Положение центра масс Y, м** | -0.008 |  |  |  |  |
| **Положение центра масс Z, м** | 0.014 |  |  |  |  |

9. Энергопотребления систем спутника: токи (напряжение = 12В), A

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **Вариант 1** | **Вариант 2** | **Вариант 3** | **Вариант 4** | **Вариант 5** |
| **БВМ** | 0.1 |  |  |  |  |
| **Блок управления полезной нагрузкой** | 0.1 |  |  |  |  |
| **Камера** | 1,5 |  |  |  |  |
| **Передатчик** | 5 |  |  |  |  |
| **Блок управления системы определения ориентации** | 0.5 |  |  |  |  |
| **Магнитометр** | 0.05 |  |  |  |  |
| **Солнечный датчик** | 0.03 |  |  |  |  |
| **Блок управление системой стабилизации** | 0.2 |  |  |  |  |
| **Электромагнитные катушки** | 0.1 |  |  |  |  |
| **Двигатели-маховики** | 1 |  |  |  |  |
| **Система энергопитания** | 0,4 |  |  |  |  |

10. характеристики системы энергопитания спутника

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **Вариант 1** | **Вариант 2** | **Вариант 3** | **Вариант 4** | **Вариант 5** |
| **КПД, в %** | 0,7 |  |  |  |  |
| **Ёмкость аккумулятора, Ач** | 12 |  |  |  |  |
| **Нормальная глубина разряда АБ, в %** | 95 |  |  |  |  |
| **Допустимая глубина разряда АБ, в %** | 80 |  |  |  |  |
| **Критическая глубина разряда АБ, в%** | 60 |  |  |  |  |
| **Макс. ток заряда АБ, А** | 10 |  |  |  |  |
| **Макс. ток разряда АБ, А** | 10 |  |  |  |  |
| **Напряжение борт.сети, В** | 12 |  |  |  |  |

11. расположение панелей солнечных батарей

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **Вариант 1** | **Вариант 2** | **Вариант 3** | **Вариант 4** | **Вариант 5** |
| **+X** | - |  |  |  |  |
| **-X** | - |  |  |  |  |
| **+Y** | - |  |  |  |  |
| **-Y** | - |  |  |  |  |
| **+Z** | + |  |  |  |  |
| **-Z** | - |  |  |  |  |
| **SX, м2** | 0 |  |  |  |  |
| **SY, м2** | 0 |  |  |  |  |
| **SZ, м2** | 0,5 |  |  |  |  |

11. начальные условия по отделению от носителя

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **Вариант 1** | **Вариант 2** | **Вариант 3** | **Вариант 4** | **Вариант 5** |
| **Нутация, град** | 12 |  |  |  |  |
| **Прецессия, град** | 45 |  |  |  |  |
| **Собственное вращение, град** | 58 |  |  |  |  |
| **WX, град/сек** | 1 |  |  |  |  |
| **WY, град/сек** | 2,5 |  |  |  |  |
| **WZ, град/сек** | -2,8 |  |  |  |  |

**Приложение 2.**

**Отчет о проведении численного моделирования**

**Расчет циклограммы работы системы энергопитания спутника для съемки Земли из космоса.**

Дата TBD

ФИО TBD

Номер варианта TBD

Цель: оценка возможности выполнения спутником задачи по съемке заданного района Земли и передаче данных на землю

Общий вид системы моделирования: карта с трассой спутника TBD

Общий вид системы моделирования: 3D-вид спутника с опорной и связанной системами координат TBD

За околоземную орбиту запущен спутник со следующими характеристиками: TBD

Характеристики орбиты: TBD

Координаты зоны съемки: TBD

Координаты приемной станции: TBD

Время начала моделирования: TBD

Моделирование в приложении SputnixModelerпоказало, что требуемые моменты включения камеры и передатчика:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | Т вкл  ГГГГ.ММ.ДД,  ЧЧ:ММ:СС | Т выкл  ГГГГ.ММ.ДД,  ЧЧ:ММ:СС |
| Съемка | TBD | TBD |
| Передача данных | TBD | TBD |

Результат численного моделирования циклограммы работы системы эергопитания (график): TBD

Максимальный уровень разряда аккумулятора на витке: TBD

Особенности работы по циклограмме: TBD

Выводы: система энергопитания обеспечивает работу спутника по циклограмме, при этом уровень разряда аккумулятора не превышает TBD%.

**Приложение 3.**

**Отчет о проведении численного моделирования**

**Расчет трехоснойстабилизации спутника на околоземной орбите**

Дата TBD

ФИО TBD

Номер варианта TBD

**Цель**: оценка времени, необходимого на стабилизацию спутника, с использованием электромагнитных катушек и двигателей-маховиков

**Общий вид системы моделирования**: 3D-вид спутника с опорной и связанной системами координат

TBD

**Характеристики электромагнитных катушек:**

Магнитный момент, Ам2: TBD

Длина, мм: TBD

Масса,кг: TBD

**Характеристики двигателей-маховиков:**

Управляющий момент, Нм TBD

Максимальный кинетический момент, Нмс TBD

Масса, кг: TBD

Коэффициент управлния электромагнитными катушками: TBD

**Коэффициенты PD-регулятора стабилизации двигателми-маховиками**

KA =TBD

KD =TBD

**Графики зависимости угловой скорости вращения спутника от времени в случае магнитной стабилизации:**

TBD

**График изменения углов при стабилизации маховиками**:

TBD

**Вывод**:

На демпфирование угловой скорости вращения электромагнитной системой уходит \_TBD\_\_\_минут.

На трехосную стабилизацию спутника двигателями-маховиками уходит \_\_\_TBD\_\_\_\_\_минут.

**Приложение 4.**

**Отчет о разработке бортовой кабельной сети**

Дата TBD

ФИО TBD

Номер варианта TBD

Цель: разработка бортовой кабельной сети спутника

Картинка : способ межблочного соединения (с сайта)

Картинка: распайка кабеля (распиновка)

Картинка: Принципиальная схема соединений блоков между собой, с обозначением номерами кабельных переходов, а также номеров блоков.

Кабельные переходы

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Номер | Длина | Примечание |
|  |  | Шлейф |
|  |  | ... |
|  |  |  |
|  |  | Пайка |

Таблица соответствий номеров блоков

|  |  |
| --- | --- |
| Номер | Наименование |
| 1 | Бортовой компьютер |
| 2 | Блок системы энергопитания |
| 3 | Датчик солнца 1 |
| ... | ... |

Пайка кабеля:

Требования:

* правильная распайка,
* прочное соединение,
* качественная пайка (однородность, отсутствие КЗ и т. д.);
* наличие терпоусадки на каждом проводе в разъемах
* наличие термоусадки на жгуте

Фото: пайка кабеля, результат

Выводы: TBD

**Приложение 5.**

**Отчет о проведении 3D-проектирования спутника**

Дата TBD

ФИО TBD

Номер варианта TBD

Цель: выполнить компоновку спутника, оценить его массово-инерционные характеристики

Картинка : общий вид путника, картинка в изометрии, положение камеры

Картинка: общий вид спутника с указанием приборов стрелками,

Картинка: указание связанных осей систем координат с центом в центре масс

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | Координаты центра масс, мм | Допуск, ±, мм | Вывод |
| X | TBD | -10..+10 |  |
| Y | TBD | -10..+10 |  |
| Y | TBD | -100..-200 |  |

Тензор инерции, кг\*м2

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | X | Y | Z |
| X |  |  |  |
| Y |  |  |  |
| Z |  |  |  |

Допустимое отклонение недиагональных элементов, относительно самого малого диагонального, не более 10%.

Расчетная масса аппарата, кг: TBD

Выводы: TBD

**Приложение 6.**

**Отчет о разработке алгоритма стабилизации**

Дата TBD

ФИО TBD

Номер варианта TBD

Цель: разработка алгоритма стабилизации спутника

Зачем нужен алгоритм: описание

Картинка: системы координат, установка датчиков ориентации,

Таблица: расположение датчиков Солнца

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Номер датчика | Ось спутника | Ориентация | Примечания |
| 1 | TBD | TBD | TBD |
| 2 | TBD | TBD | TBD |
| 3 | TBD | TBD | TBD |
| 4 | TBD | TBD | TBD |

Таблица: расположение измерительных осей магнитометра

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Ось датчика | Ось спутника | Примечания |
| X | TBD | TBD |
| Y | TBD | TBD |
| Z | TBD | TBD |

Таблица: расположение измерительных осей датчика угловых скоростей

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Ось датчика | Ось спутника | Примечания |
| X | TBD | TBD |
| Y | TBD | TBD |
| Z | TBD | TBD |

Принципиальная блок схема работы алгоритма

TBD

**Приложение 7.**

**Отчет о сборке спутника**

Дата TBD

ФИО TBD

Номер варианта TBD

Цель: сборка и тестирование бортовых систем

Картинка : собранный спутник

Таблица соответствия установки приборов 3D-модели

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Номер | Название | Соответствие (Да, нет) | Примечания |
| 1 | Борт компьютер | TBD | TBD |
| 2 | Солнечный датчик 1 | TBD | TBD |
| 3 | Магнитометр | TBD | TBD |
| ... |  | TBD | TBD |

Таблица проверки работоспособности систем

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Номер | Название | Работоспособность (Да, нет) | Примечания (показания датчиков) |
| 1 | Борт компьютер | TBD | TBD |
| 2 | Солнечный датчик 1 | TBD | TBD |
| 3 | Магнитометр | TBD | TBD |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |

**Приложение 8.**

Отчет о оценке стоимости спутника

Дата TBD

ФИО TBD

Номер варианта TBD

Цель: рассчитать стоимость бортовых систем, а также стоимости сборки, испытаний, запуска и эксплуатации разрабатываемого спутника

Расчетная модель: SSCM

Средство расчета: SputnixSatelliteModeler

Результаты:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Поз** | **Название** | **Оценка стоимости, M$** | **Примечание** |
| **Подсистемы** | | | |
| 1 | Система ориентациии стабилизации |  |  |
| 2 | Система энергопитания |  |  |
| 3 | Система телеметрии и телекоманд |  |  |
| 4 | Система терморегулирования |  |  |
| 5 | Система навигации |  |  |
| 6 | Конструкция |  |  |
| 7 | Полезная нагрузка |  |  |
| **Сборка, испытания** | | | |
| 8 |  |  |  |
| **Запуск** | | | |
| 9 | Транспортировка |  |  |
| 10 | Работа на космодроме |  |  |
| 11 | Услуга по запуску |  |  |
| **Эксплуатация** | | | |
| 12 | Наземная станция приема |  |  |
| 13 | Сопровождение |  |  |

**Приложение 9.**

Лист эксперта: культура производства и аккуратность на рабочих местах. Команда:

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Поз** | **Время** | **Проблема** | **Комментарий** | **Примечания** |
| **День 1** | | | | |
| 1 |  |  |  |  |
| 2 |  |  |  |  |
| 3 |  |  |  |  |
| 4 |  |  |  |  |
| 5 |  |  |  |  |
| 6 |  |  |  |  |
| 7 |  |  |  |  |
| **День 2** | | | | |
| 1 |  |  |  |  |
| 2 |  |  |  |  |
| 3 |  |  |  |  |
| 4 |  |  |  |  |
| 5 |  |  |  |  |
| 6 |  |  |  |  |
| 7 |  |  |  |  |
| **День 3** | | | | |
| 1 |  |  |  |  |
| 2 |  |  |  |  |
| 3 |  |  |  |  |
| 4 |  |  |  |  |
| 5 |  |  |  |  |
| 6 |  |  |  |  |
| 7 |  |  |  |  |

Приложение 10.

