Министерство образования и науки Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение

высшего образования

«Балтийский государственный технический университет

«ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова»

**ОТЧЕТ**

**О НАУЧНО – ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ**

по теме:

Разработка конструкции механизма разворота

блока балластной нагрузки

космического аппарата

с ядерной энергетической установкой

Руководитель: \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

подпись

\_\_канд. техн. наук, доцент\_\_ \_\_\_\_\_\_\_Евстафьев В.А.\_\_\_\_

ученая степень, ученое звание Фамилия И.О.

« 15 » декабря 2017 г.

Магистрант: \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_Буксар М.Ю.\_\_\_\_\_\_

подпись Фамилия И.О.

« 15 » декабря 2017 г.

Санкт-Петербург

2017 г.

**Список сокращений**

ББН – блок балластной нагрузки

КА – космический аппарат

МР – механизм разворота

НФ – несущая ферма

СБ – солнечная батарея

ЯЭУ – ядерная энергетическая установка

**Содержание**

Введение…………………………………………………………………...………....4

1. Описание конструкции МР ББН………………………………………………....5

2. Расчет конструкции МР ББН на прочность на этапе наземной эксплуатации и на этапе выведения КА на рабочую орбиту………………………………………11

2.1 Создание расчетной модели…………………………………………….13

2.2 Расчет каркаса МР ББН на прочность и устойчивость………………..14

Заключение………………………………………………………………………….17

Список использованных источников……………………………………………...18

**Введение**

Темой научно-исследовательской работы является разработка конструкции механизма разворота (МР) блока балластной нагрузки (ББН) космического аппарата (КА) с ядерной энергетической установкой (ЯЭУ) и проведение проверочного прочностного расчета конструкции.

С каждым годом проводимые в космосе исследования становятся все более энергоемкими. ЯЭУ решает проблему энергоснабжения систем КА гораздо эффективнее других источников энергии. В сравнении с самыми распространенными на сегодняшний день источниками энергии – солнечными батареями (СБ), ЯЭУ имеет ряд преимуществ.

ЯЭУ превосходит по мощности СБ. За период активного существования КА, мощность у СБ снижается, т.к. в условиях космического пространства происходит деградация поверхности фотоэлектрических преобразователей, что ведет к падению мощности вырабатываемой СБ.

КА с ЯЭУ несет на борту полезную нагрузку, потребляющую энергию, вырабатываемую ЯЭУ. Однако в то время, когда полезная нагрузка не задействована, требуется «сбрасывать» потребляемую от ЯЭУ электрическую мощность.

ББН КА предназначен для утилизации избыточной электроэнергии, вырабатываемой ЯЭУ, преобразовывая ее в тепловую мощность и сбрасывая ее в космическое пространство. ББН требуется разместить на некотором удалении от КА с целью уменьшения воздействия высокой температуры на конструкцию и системы КА, для чего служит МР ББН.

Актуальность разработки МР ББН состоит в том, что в настоящее время не существует технических устройств, позволяющих отодвинуть крупногабаритные конструкции от элементов КА и осуществляющих «сброс» большой тепловой мощности в космическое пространство.

1. **Описание конструкции МР ББН КА**

ББН КА предназначен для утилизации избыточной энергии, вырабатываемой ЯЭУ, а именно для преобразования ее в тепловую мощность, и излучения в космическое пространство.

Мощность, сбрасываемая в окружающее пространство составляет до 500 кВт.

В состав КА входят три МР, закрепленных на несущей ферме (НФ) КА. Размещение МР ББН на НФ КА показано на рисунке 1. МР расположены на НФ под углом 120° относительно друг друга.

Конструкция МР была разработана в среде автоматизированного проектирования SolidWorks.

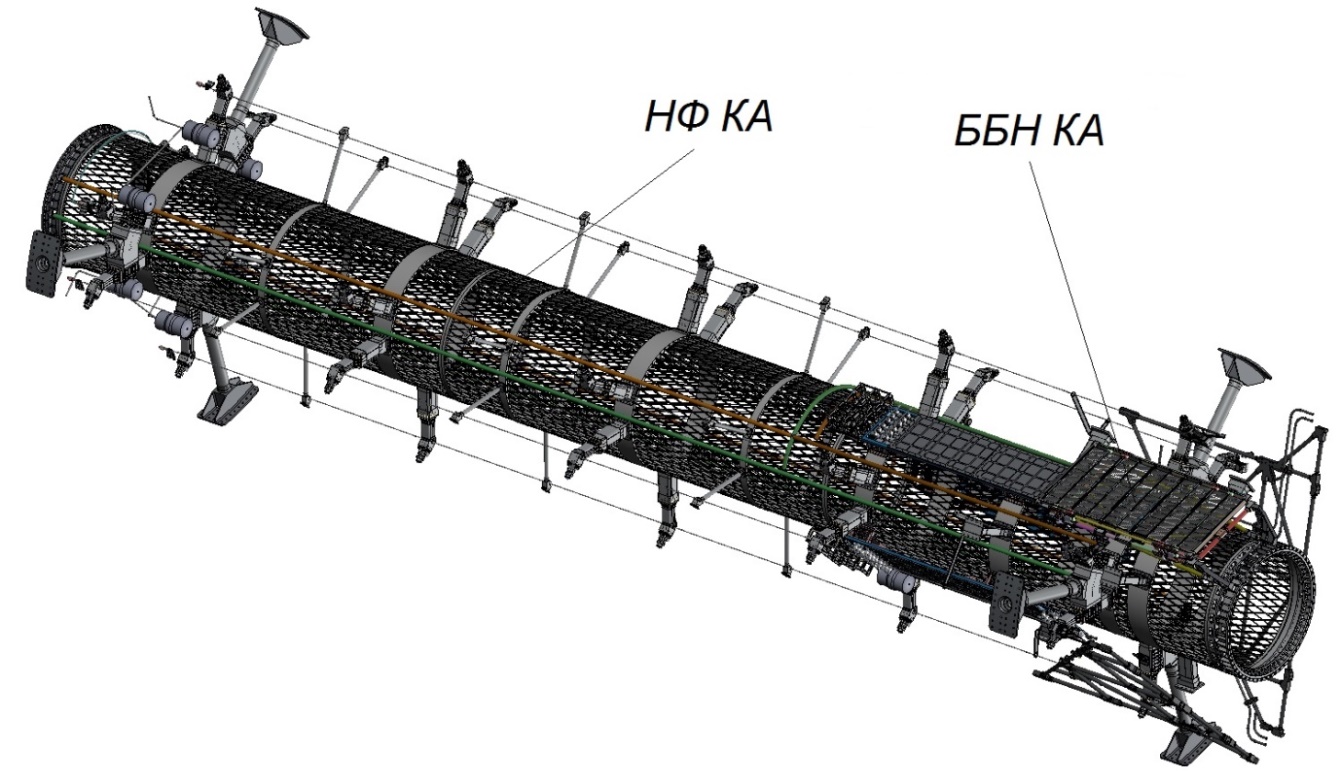


Рисунок 1 – Расположение МР ББН на КА

В состав МР ББН входят: (рисунок 2):

1 – Каркас (1 шт.);

2 – Рама ББН (1 шт.);

3 – Ограничители перемещений (2 шт.);

4 – Узел разворота (2 шт.);

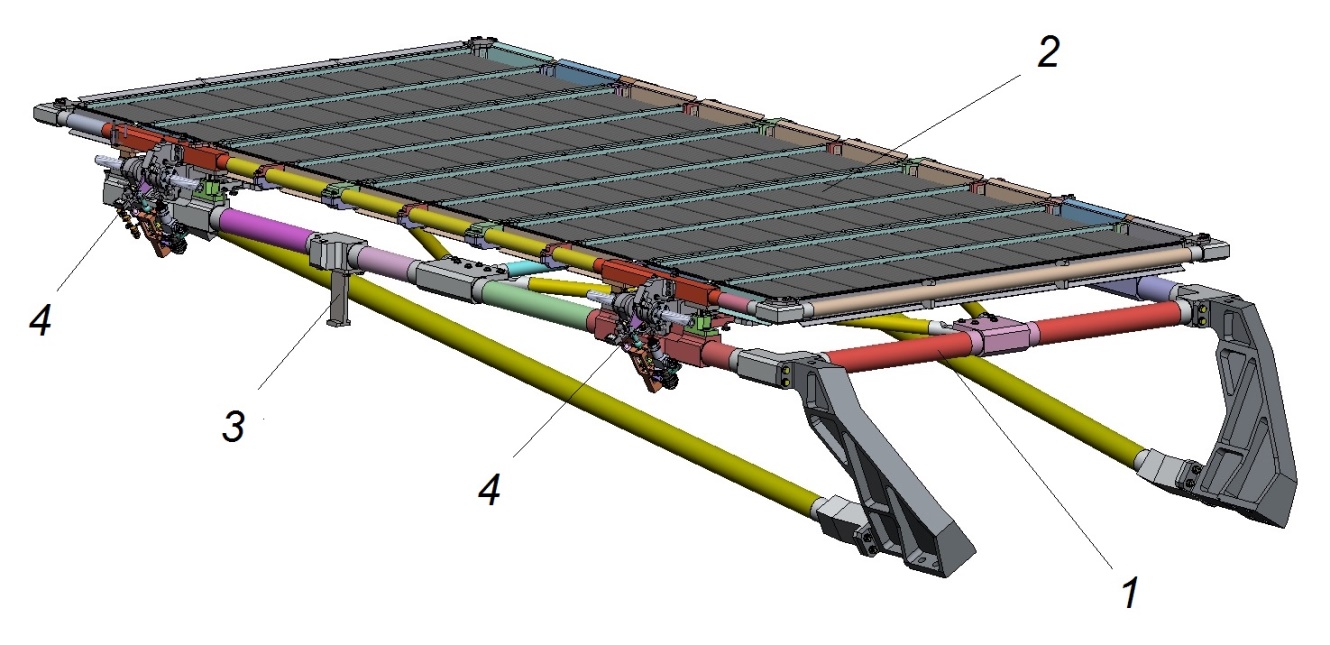


Рисунок 2 – МР ББН

Каркас (1) состоит из следующих элементов (рисунок 3):

1.1 – Рама (1 шт.);

1.2 – Штанга (2 шт.);

1.3 – Кронштейн (2 шт.);

Рама (1.1) и штанги (1.2) представляют собой сварные конструкции из алюминиевого сплава АМг6 ГОСТ 4784-97. Состоят из фитингов и труб диаметром 50 мм. Крепление рамы (1.1) и штанг (1.2) друг к другу осуществляется болтами из стали 12Х18Н10Т ГОСТ 5632-72. Кронштейны (1.3) изготавливаются из алюминиевого сплава Д16Т ГОСТ 9784-97.

Рама ББН (2) представляет собой сварную конструкцию из титанового сплава ВТ14 ГОСТ 19807-91 (рисунок 4). Состоит из фитингов и труб диаметром 30 мм (2.1). На раме закреплены нагревательные элементы (2.2), При прохождении тока, нагревательные элементы могут быть нагреты до температуры более 800°С.

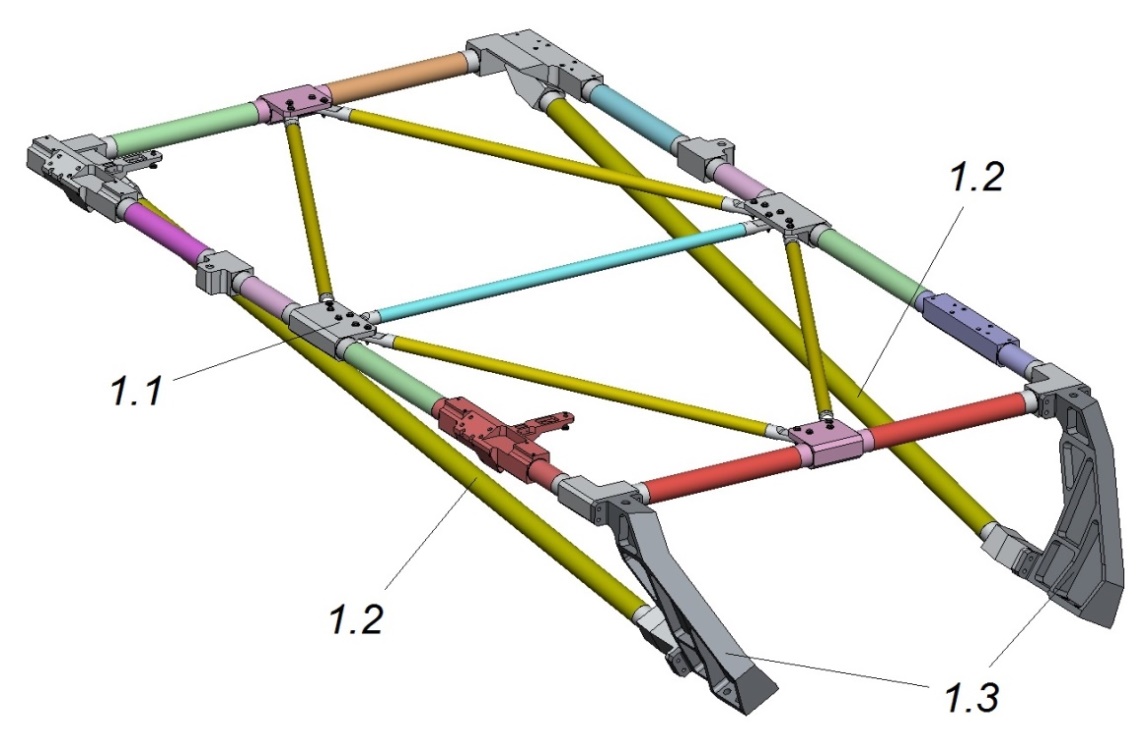


Рисунок 3 – Каркас МР ББН

По периметру рамы ББН (2) установлены экраны (2.3), предназначенные для отражения части теплового потока теплового излучения, падающего на конструкцию рамы ББН при работе нагревательных элементов, и защиты конструкции рамы от воздействия высокой температуры. Экраны изготавливаются из листовой стали 12Х18Н10Т ГОСТ 5632-72.

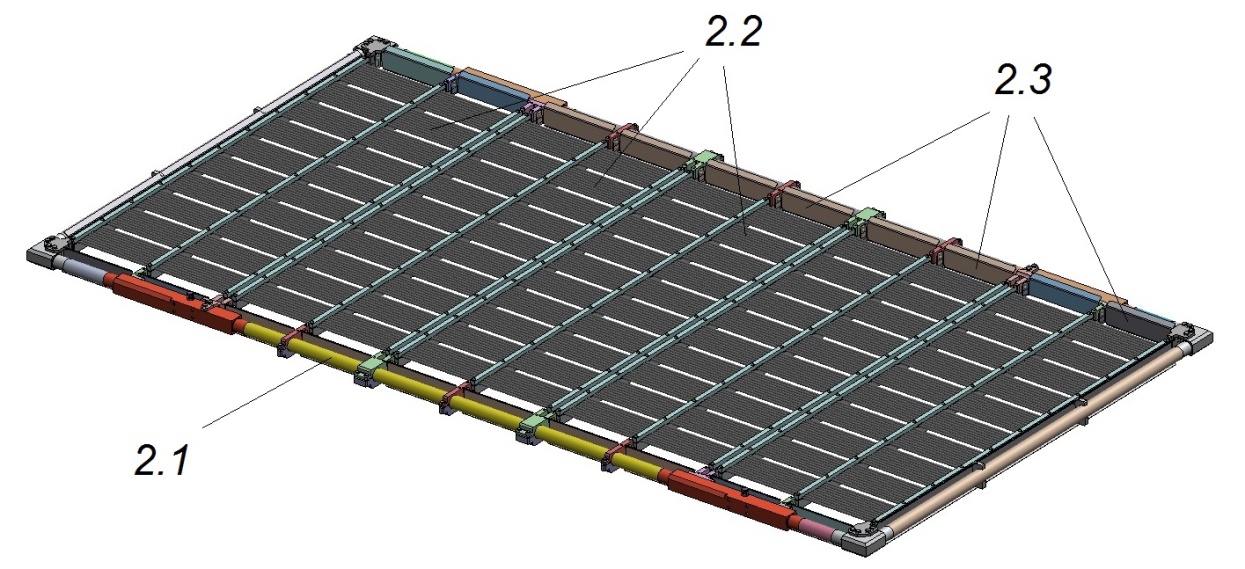


Рисунок 4 – Рама ББН

Узлы разворота (4) служат для приведения рамы ББН (2) в рабочее положение. Узел разворота изображен на рисунке 5.

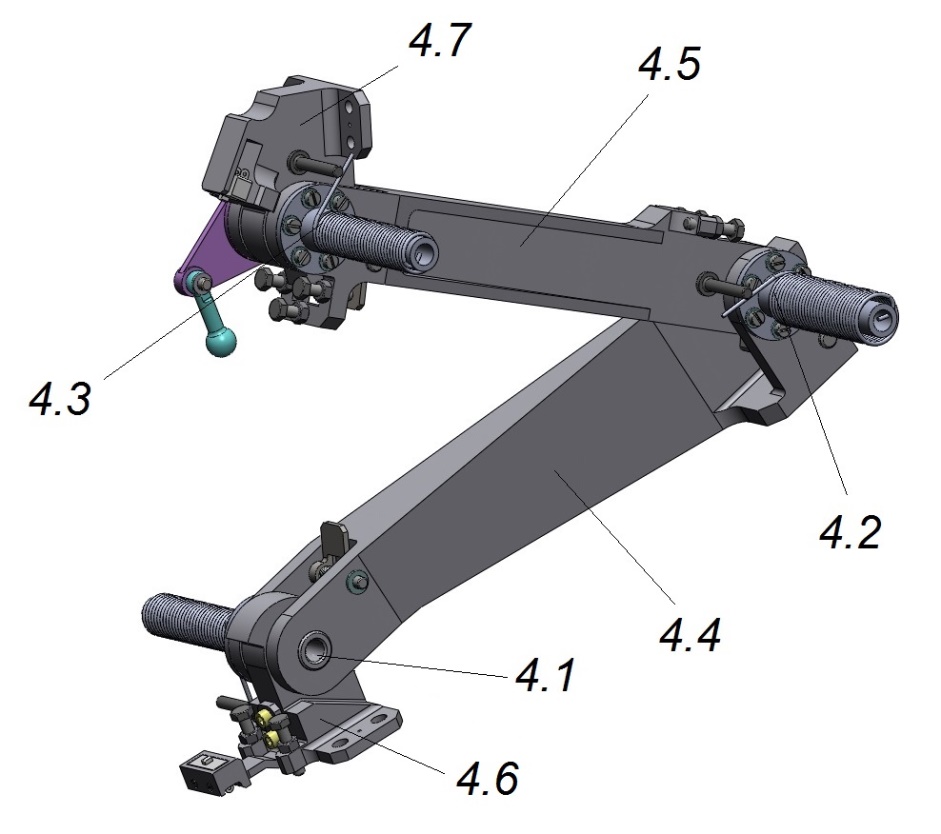


Рисунок 5 – Узел разворота ББН

Узел разворота имеет в своем составе три шарнирных узла (4.1, 4.2, 4.3), и два звена (4.4 и 4.5). В шарнирных узлах установлены пружины кручения.

Узел разворота (4) устанавливается на каркас (1) с помощью кронштейна 4.6. Рама ББН (2) крепится к узлам разворота (4) с помощью кронштейна 4.7.

Ограничители перемещений (3) предназначены для минимизации прогиба конструкции при транспортировке и выведении. Изготавливаются из углеродистой стали 45 ГОСТ 1050-88.

МР ББН крепятся к НФ через кронштейны (1.3) и ограничители перемещений (3).

При выведении КА на рабочую орбиту, МР ББН находится в транспортном положении. Транспортное положение МР ББН показано на рисунке 2.

После выведения КА на рабочую орбиту, МР ББН приводится в рабочее положение. Приведение в рабочее положение осуществляется в несколько этапов.

1. Срабатывают два пирозамка. Узлы разворота расфиксируются и приводятся в действие пружинами кручения, установленными в шарнирных узлах 4.1, 4.2 и 4.3. Звенья узлов разворота 4.4 и 4.5 начинают движение, Повернувшись на угол 30°, рама ББН приходит в промежуточное положение. В узле 4.2 срабатывает защелка, фиксирующая звенья 4.4 и 4.5 относительно друг друга. Промежуточное положение МР ББН показано на рисунке 6.

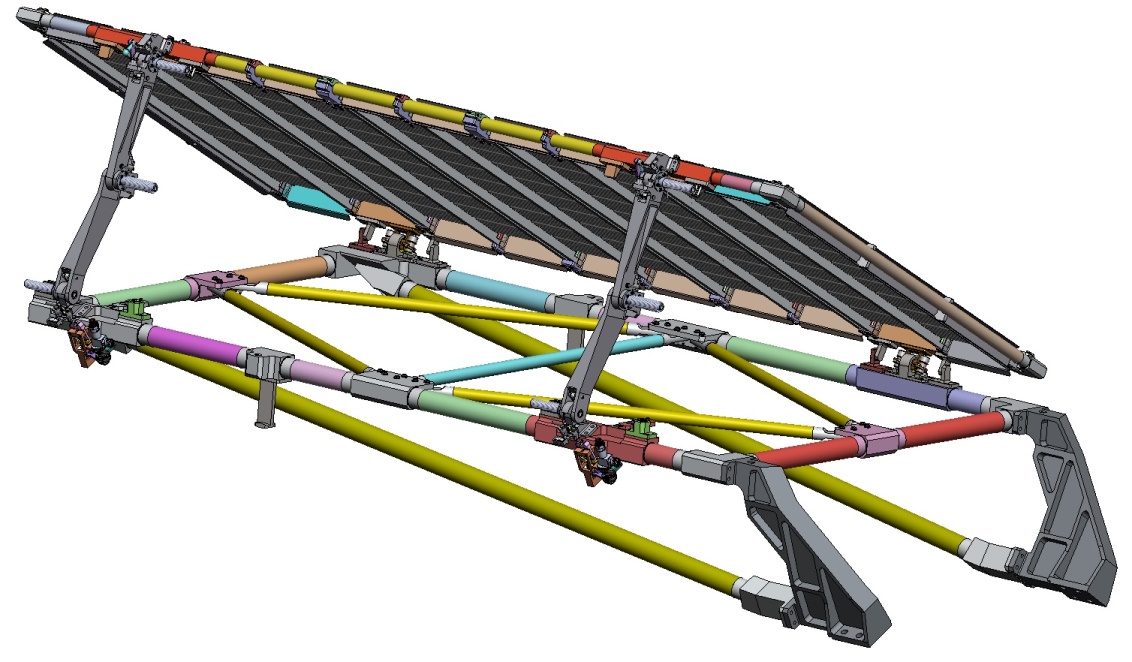


Рисунок 6 –МР ББН в промежуточном положении

2. При приведении рамы ББН в промежуточное положение, происходит расчековка. На раму ББН действуют пружинные толкатели. Под действием силы пружинных толкателей и моментов от пружин кручения в узлах 4.1 и 4.3, рама ББН переходит в рабочее положение, где фиксируется защелками в узлах 4.1 и 4.3, МР ББН в рабочем положении показан на рисунке 7.

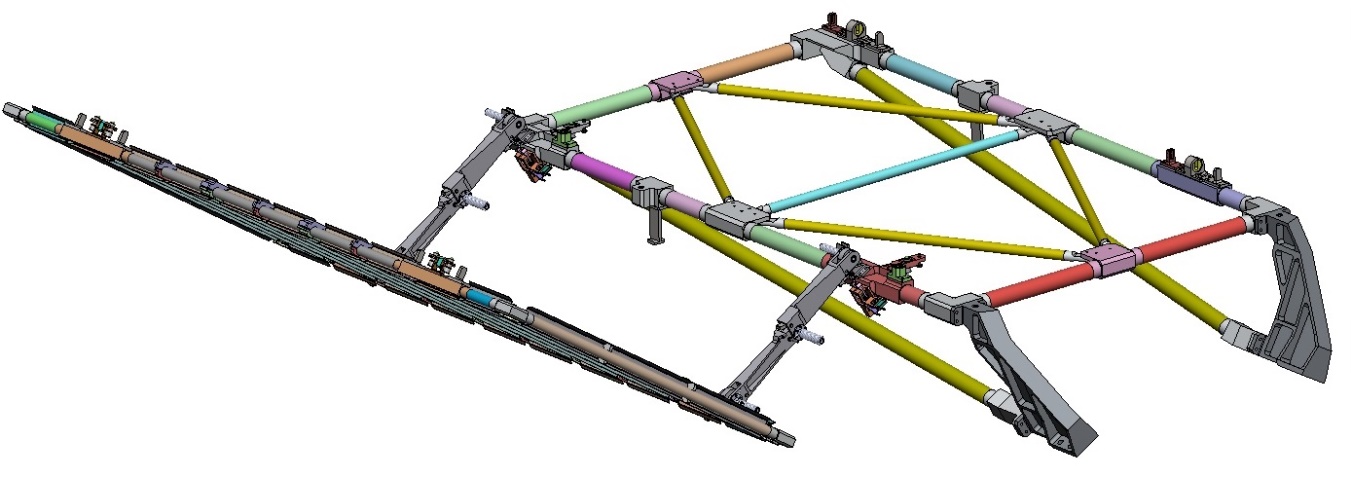


Рисунок 7 – МР ББН в рабочем положении

Масса МР ББН: 145,46 кг

Масса рамы ББН: 75,46 кг

Масса каркаса: 46,06 кг

Масса узла разворота: 7,56 кг

**2. Расчет конструкции МР ББН на прочность на этапе наземной эксплуатации и на этапе выведения КА на рабочую орбиту**

C целью проверки способности разработанной конструкции воспринимать действующие на нее нагрузки на различных этапах эксплуатации необходимо провести проверочный расчет на прочность и устойчивость.

На этапе наземной эксплуатации и на участке выведения КА на рабочую орбиту на КА действуют перегрузки. Величины перегрузок указаны в таблицах 1 – 3.

Таблица 1 – Перегрузки, действующие при транспортировке КА авиационным и автомобильным транспортом

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| *n*x | *n*y | *n*z |
| 1,55 | 3,2 | - |
| -0,6 | 3,55 | - |
| - | 4,0 | - |
| - | 3,07 | 0,67 |
| 2,3 | -2,0 | ±1,5 |
| -1,5 |
| ±2 | 1±2 | ±1,25 |

Таблица 2 – Перегрузки при проведении работ с КА

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | *n*x | *n*y | *n*z |
| Такелажные работы | ±0,2 | 1,0±0,2 | ±0,2 |
| Такелажные работы в пределах ЭО на заводе-изготовителе | ±1,0 | 1,0±1,0 | ±0,4 |
| Такелажные работы в ЭО | ±0,2 | 1,0±0,3 | ±0,2 |
| Транспортирование в ЭО в составе РН | ±0,5 | 1,0±0,2 | ±0,1 |
| Вертикализация РН при установке на стартовом столе | от ±0,2  до 1,0±0,2 | от 1,0±0,2  до ±0,2 | ±0,2 |

Примечание: при вертикализации угловое ускорение не более 0,04 рад/с2

Таблица 3 – Перегрузки, действующие на КА на участке выведения

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | *n*x | *n*y | *n*z |
| *q*max | 1,8 | ±1 | ±1 |
| *I* ст. | 4,5 | ±0,2 | ±0,2 |
| *II* ст. | 2,8 | ±0,15 | ±0,15 |
| *III* ст. | 1,2 | ±0,3 | ±0,3 |

Ввиду того, что значения перегрузок на различных этапах эксплуатации либо превышают, либо дублируют друг друга, нет необходимости проводить расчет конструкции для каждого случая. Выберем ряд перегрузок, на которые необходимо рассчитать конструкцию на различных этапах эксплуатации. Значения данных перегрузок указаны в таблице 4. Также в таблице 4 указаны значения ускорений вдоль координатных осей, которые будут использоваться при расчете.

Таблица 4 – Расчетные случаи эксплуатационных перегрузок

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Величина перегрузки | | | g, м/с2 | Ускорение | | |
| *n*x | *n*y | *n*z | 9,81 | *a*x | *a*y | *a*z |
| Транспортировка авиационным транспортом | | | | | | |
| 1,55 | 3,2 | 0 |  | 15,21 | 31,39 | 0,00 |
| -0,6 | 3,55 | 0 |  | -5,89 | 34,83 | 0,00 |
| 0 | 4 | 0 |  | 0,00 | 39,24 | 0,00 |
| 0 | 3,07 | 0,67 |  | 0,00 | 30,12 | 6,57 |
| 2,3 | -2 | 1,5 |  | 22,56 | -19,62 | 14,72 |
| 2,3 | -2 | -1,5 |  | 22,56 | -19,62 | -14,72 |
| Транспортировка автомобильным транспортом | | | | | | |
| 2 | 3 | 1,25 |  | 19,62 | 29,43 | 12,26 |
| -2 | 3 | 1,25 |  | -19,62 | 29,43 | 12,26 |
| 2 | 3 | -1,25 |  | 19,62 | 29,43 | -12,26 |
| -2 | 3 | -1,25 |  | -19,62 | 29,43 | -12,26 |
| На участке выведения | | | | | | |
| 4,5 | 0,2 | 0,2 |  | 44,15 | 1,96 | 1,96 |
| 2,8 | 0,15 | 0,15 |  | 27,47 | 1,47 | 1,47 |
| 1,2 | 0,3 | 0,3 |  | 11,77 | 2,94 | 2,94 |

**2.1. Создание расчетной модели конструкции МР ББН**

С целью получения расчетной модели из разработанной конструкции необходимо исключить:

- крепежные изделия, а именно: болты, винты, штифты, гайки и др.;

- датчики и микропереключатели;

- узлы зачековки и расфиксации;

- пружины, подшипники, втулки, защелки

- пружинные толкатели в узлах зачековки;

- экраны, отражающие излучение нагревателей;

- нагревательные элементы на раме ББН, кронштейны, фитинги для крепления нагревательных элементов (заменяются распределенной массой);

- отверстия для крепления болтов и штифтов;

На различных этапах эксплуатации силовым элементом является каркас 1. Нагрузки от рамы ББН 2действуют только на ряд упоров и креплений, расположенных на каркасе 1 и воспринимающих перегрузки по координатным осям.

Соответственно, расчет конструкции МР ББН необходимо проводить для двух расчетных моделей, а именно:

1. Расчет каркаса на прочность и устойчивость при действии различных перегрузок.
2. Расчет рамы ББН, зафиксированной на упорах.

**2.2 Расчет каркаса МР ББН на прочность и устойчивость**

Расчет будет проводиться с помощью системы конечно-элементного анализа ANSYSв модуле *Static Structural*.

Упрощенную модель импортируем из SolidWorks в ANSYS. В окне проекта *Project Schematic* в элементе *Engineering Data* задаем используемые в модели материалы и их свойства.

В элементе *Model* каждому элементу модели ставится в соответствие материал.

В элементе *Setup* задаются настройки и ограничения.

Задается локальная система координат, связанная с геометрией модели. На поверхностях кронштейнов 1.3 обозначаются две зафиксированные опоры *Fixed Support*. На ограничителях перемещений 3 задаются ограничения перемещений *Displacement*. Перемещения вдоль оси *X* не ограничены. Перемещения вдоль осей *Y* и *Z* равны 0.

Расчетные перегрузки задаются при помощи ускорений *Acceleration*. Величины ускорений указаны в таблице 4.

На рисунке 8 показана расчетная модель каркаса МР ББН со всеми расчетными условиями и ограничениями.

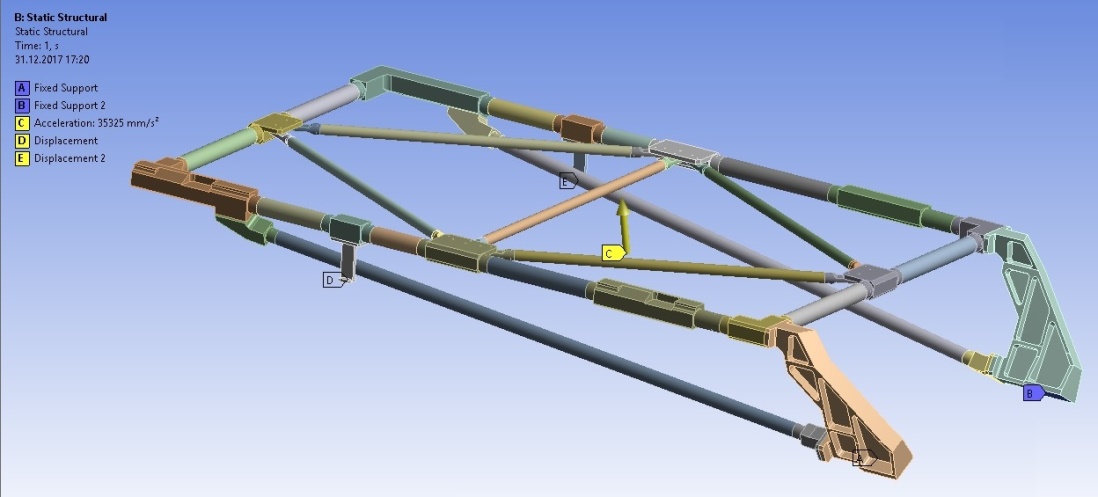


Рисунок 8 – Расчетная модель каркаса МР ББН

Расчетная сетка *Mesh* требует настроек, т.к. результат автоматического генерирования сетки дает достаточно высокую погрешность. Размер ячейки сетки задается с помощью элементов *Sizing* и *Relevance*.

Для кронштейнов 1.3, ограничителей перемещений 3 и фитингов элементы сетки строятся по методу *Tetrahedrons Patch Conforming*. Элементы сетки представляют собой тетраэдры.

Для труб для построения расчетной сетки используется метод *Sweep*. Для штанг 1.2 используется опция *Sweep Bias Type*, определяющая направление сгущения сетки.

Результаты расчета каркаса МР ББН под действием представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Результаты расчета каркаса МР ББН под действием эксплуатационных перегрузок

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Величина перегрузки | | | σ, МПа | δx, мм | δy, мм | δz, мм |
| *n*x | *n*y | *n*z |
| Транспортировка авиационным и автомобильным транспортом | | | | | | |
| 1,55 | 3,2 | 0 | 0,0002 | -0,1105 | -0,731 | -0,041 |
| 15,851 | 0,0357 | 0,0166 | 0,041 |
| -0,6 | 3,55 | 0 | 0,0002 | -0,09 | -0,72 | -0,049 |
| 16,287 | 0,045 | 0,017 | 0,049 |
| 0 | 4 | 0 | 0,0004 | -0,11 | -0,838 | -0,055 |
| 18,729 | 0,049 | 0,0197 | 0,054 |
| 0 | 3,07 | 0,67 | 0,0002 | -0,088 | -0,643 | -0,087 |
| 16,867 | 0,041 | 0,019 | 0,0072 |
| 2,3 | -2 | 1,5 | 0,0004 | -0,066 | -0,038 | -0,191 |
| 16,125 | 0,032 | 0,332 | 0,003 |
| 2,3 | -2 | -1,5 | 0,0005 | -0,064 | -0,0362 | -0,003 |
| 16,21 | 0,032 | 0,3297 | 0,188 |
| 2 | 3 | 1,25 | 0,0003 | -0,117 | -0,706 | -0,151 |
| 20,089 | 0,0389 | 0,025 | 0,0054 |
| -2 | 3 | 1,25 | 0,0004 | -0,062 | -0,5511 | -0,1577 |
| 17,762 | 0,049 | 0,023 | 0,0017 |
| 2 | 3 | -1,25 | 0,0003 | -0,111 | -0,7073 | -0,006 |
| 20,651 | -0,0409 | 0,0263 | 0,1551 |
| -2 | 3 | -1,25 | 0,0003 | -0,0559 | -0,5529 | -0,0021 |
| 18,41 | 0,0508 | 0,0242 | 0,163 |
| Величина перегрузки | | | σ, МПа | δx, мм | δy, мм | δz, мм |
| *n*x | *n*y | *n*z |
| На участке выведения | | | | | | |
| 4,5 | 0,2 | 0,2 | 0,0003 | -0,1128 | -0,2235 | -0,0464 |
| 7,363 | 0,0014 | 0,016 | 0,0121 |
| 4,5 | -0,2 | -0,2 | 0,0002 | -0,108 | -0,165 | -0,017 |
| 6,4427 | 0,0008 | 0,0242 | 0,046 |
| 1,2 | 0,3 | 0,3 | 0,0001 | -0,0357 | -0,1091 | -0,0396 |
| 3,6028 | 0,0027 | 0,0044 | 0,0019 |

Из результатов расчета видно, что величины напряжений, возникающих на различных этапах эксплуатации, не являются критическими для конструкции. Максимальные напряжения не превышают 19 Мпа (при транспортировке авиационным и автомобильным транспортом).

Эксплуатационные нагрузки не приводят к разрушению конструкции. Таким образом, можно сделать вывод о том, что конструкция не теряет устойчивость на этапах наземной эксплуатации и на участке выведения.

**Заключение**

В ходе выполнения работы была разработана конструкция механизма разворота блока балластной нагрузки космического аппарата с ядерной энергетической установкой.

Масса механизма разворота блока балластной нагрузки равна 145,46 кг. Масса рамы ББН – 75,46 кг. Масса каркаса 46,06 кг.

Разработанная конструкция может быть доработана и использована на другом космическом аппарате, имеющем габариты, отличные от представленных в работе.

Имеется возможность доработки конструкции, которая будет обеспечивать сброс тепловой мощности, отличной от указанной в работе.

В целом, задачи, поставленные в работе, выполнены. Полученные результаты позволяют использовать данную конструкцию на следующих этапах проектирования.

**Список использованных источников**

1. Теория проектирования сложных технических систем космического базирования: учебник / М.К. Сапего, Н.А. Тестоедов, В.А. Бабук, В.П. Белов, Л.С. Бурылов, А.В. Романов. – СПб.: ФГУП «КБ «Арсенал» имени М.В. Фрунзе», Балт. гос. техн. ун-т «Военмех» имени Д.Ф. Устинова, СПб отделение Академии космонавтики РФ им.К.Э.Циолковского, ОАО «ИСС» им. М.Ф.Решетнева,2012. – 560 с.: ил.
2. Акимов В.Н., Коротеев А.С. Ядерная космическая энергетика: вчера, сегодня, завтра. // «Современная наука». М.: Изд-во ГНЦ ФГУП «Центр Келдыша», 2011.В.№2. 77 с.
3. Орлов П.И. Основы конструирования: Справочно - методическое пособие. В 2-х кн. Кн. 1 / Под ред. П.М. Учаева.- Изд. 3-е, испр. - М.: Машиностроение, 1988.-560 с.: ил.
4. Основы конструирования ракет-носителей космических аппаратов: Учебник для студентов втузов / Б.В. Грабин, О.И. Давыдов, В.И. Жихарев и др.; Под ред. В.П. Мишина, В.К. Карраска. – М.: Машиностроение, 1991. – 416 с.: ил.
5. Атамасов В.Д., Бабук В.А., Немыкин С.А., Романов А.В., Соколов Ю.А., Устинов А.Н. Ядерные орбитальные комплексы /Под ред. В.Д. Атамасова - СПБ.: ФГУП «Конструкторское бюро «Арсенал» им.М.В.Фрунзе», Балтийский государственный технический университет «Военмех» им. Д.Ф.Устинова, Санкт-Петербургское отделение Академии космонавтики Российской Федерации им. К.Э. Циолковского, НИИ космических систем им. ГенералаА.А.Максимова, 2016.- 800 с.,ил., цв. вкл.
6. Основы работы в ПК ANSYS 16.0 / С.А. Вальгер, М.Н. Данилов, Ю.В. Захарова, Н.Н. Федорова ; Новосиб. Гос. Архитектур.-строит. Ун-т (Сибстрин). – Новосибирск 6 НГАСУ (Сибстрин), 2015. – 240 с.
7. Конструирование космических аппаратов: методические указания по выполнению курсового проекта / Сост., В.А. Евстафьев,Н.К.Матвеев; Балт. гос. техн. ун-т.- СПб., 2009. – 23 с.