**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д. Ф. Устинова»**

**(БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д. Ф. Устинова)**

ДОПУСКАЕТСЯ К ЗАЩИТЕ:

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Факультет |  |  | Заведующий кафедрой |  | А3 |
|  | индекс факультета |  |  |  | индекс кафедры |
| Выпускающая кафедра | А3 |  | Бабук В.А. |  |  |
|  | индекс кафедры |  | Фамилия ИО |  | подпись |
| Группа | А3М32 |  | «\_\_\_\_» \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 20\_\_\_ г. | | |
|  | индекс группы |  |  |  |  |

**ОТЧЕТ**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **о прохождении** | научно-производственной | **практики** |
|  | наименование практики |  |
| Буксара Михаила Юрьевича | | |
| Фамилия, имя, отчество обучающегося | | |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Обучающегося по направлению/специальности** | |  | 24.04.01 | |  | Ракетные комплексы и космонавтика | | | | | |
| нужное подчеркнуть | |  | код | |  | полное наименование направления/специальности | | | | | |
|  | | | | | | | | | | | |
| **Руководитель практики от БГТУ**  **«ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова:** | | Евстафьев В.А., к.т.н., доцент, профессор | | | | | | | | | |
|  | | Фамилия ИО, ученая степень, ученое звание, должность | | | | | | | | | |
| **Руководитель практики от**  **профильной организации:** | | Серебренников В.Ю., ведущий инженер-конструктор | | | | | | | | | |
|  | | Фамилия ИО, ученая степень, ученое звание, должность | | | | | | | | | |
| **Срок прохождения практики:** | с | | 02.07.2018 | | | | г. |  | по | 21.07.2018 | г. |
| **Должность обучающегося на практике:** | | | | практикант | | | | | | | |

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Руководитель практики от БГТУ «Военмех» им. Д.Ф. Устинова** |  |  |  | **Руководитель практики от профильной организации** |  |  |
|  |  | Евстафьев В.А. |  |  |  | Серебренников В.Ю. |
| Подпись |  | Фамилия ИО |  | Подпись |  | Фамилия ИО |
| «\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 2018 г. | | |  | «\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 2018 г. | | |

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ

2018 г.

**Содержание**

Введение……………………………………………………………………………...3

1. Конструктивно-технологические требования к опорам НФ..……………….4
2. Конструкция опоры НФ КА……………………………………………….…..5
3. Проверочный прочностной расчет опоры НФ………………………….....….6

3.1 Определение реакций в опорах…………………………………………..6

3.2 Расчетная модель опоры НФ КА………………………………………...9

1. Расчет опоры на устойчивость………………………………………...……..12

Заключение…………………………………………………………..……………...15

Список использованных источников…………………………………………...…16

**Введение**

Прохождение научно-производственной практики осуществлялось в период со 02 июля по 21 июля 2018 года в АО «КБ «Арсенал» им. М.В. Фрунзе» в конструкторском секторе.

За период прохождения практики обучающийся ознакомился:

* с профилем работы сектора, его взаимоотношениями со смежными подразделениями, общей структурой КБ, а также взаимодействием КБ с МЗ «Арсенал» и другими предприятиями;
* с конструкторской документацией сектора, порядком и этапами ее разработки и согласования;
* с правилами, инструкциями, нормативно-техническими документами, стандартами предприятия, используемыми при проектировании и конструировании изделий.

Также была разработана конструкция опоры несущей фермы для макета космического аппарата «Транспортно-энергетический модуль», и проведен ее проверочный расчет на прочность и устойчивость.

**1 Конструктивно-технологические требования к опорам НФ**

Опоры несущей фермы (НФ) являются несущими элементами и предназначены для закрепления космического аппарата (КА) «Транспортно-энергетический модуль» (ТЭМ) на двух сегментах после окончания сборки. При размещении КА под головным обтекателем (ГО) ракеты-носителя (РН), с помощью опор осуществляется дополнительная фиксация КА в ГО.

На НФ конструкторско-технологического макета (КТМ) «ТЭМ» имеется 6 опор. Опоры расположены под углом 120° относительно друг друга в двух силовых поясах (рисунок 1) НФ.

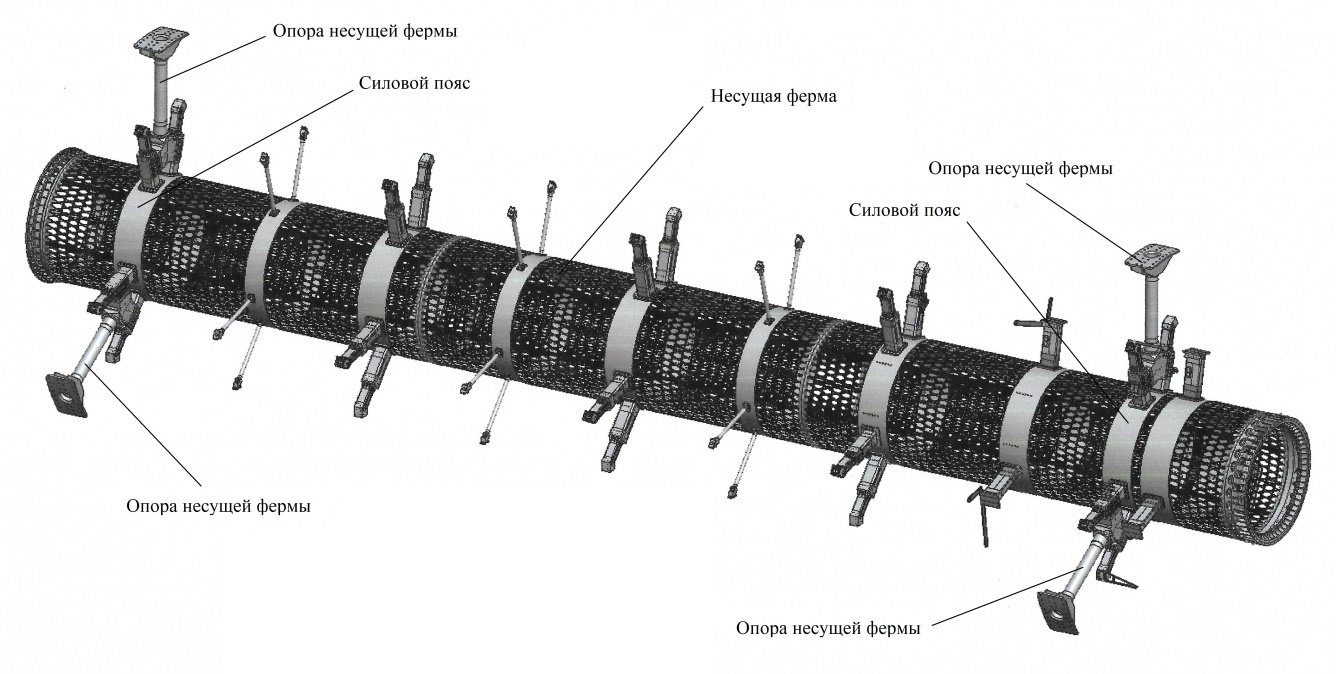


Рисунок 1 – Размещение опор на НФ

Опоры должны выдерживать нагрузки, действующие на них при закреплении КТМ «ТЭМ» в горизонтальном положении на двух сегментах. Нагрузки, действующие на опоры являются массовыми, статическими. Динамическое нагружение макета отсутствует.

**2 Конструкция опоры НФ КА**

Конструкция опоры НФ показана на рисунке 2.

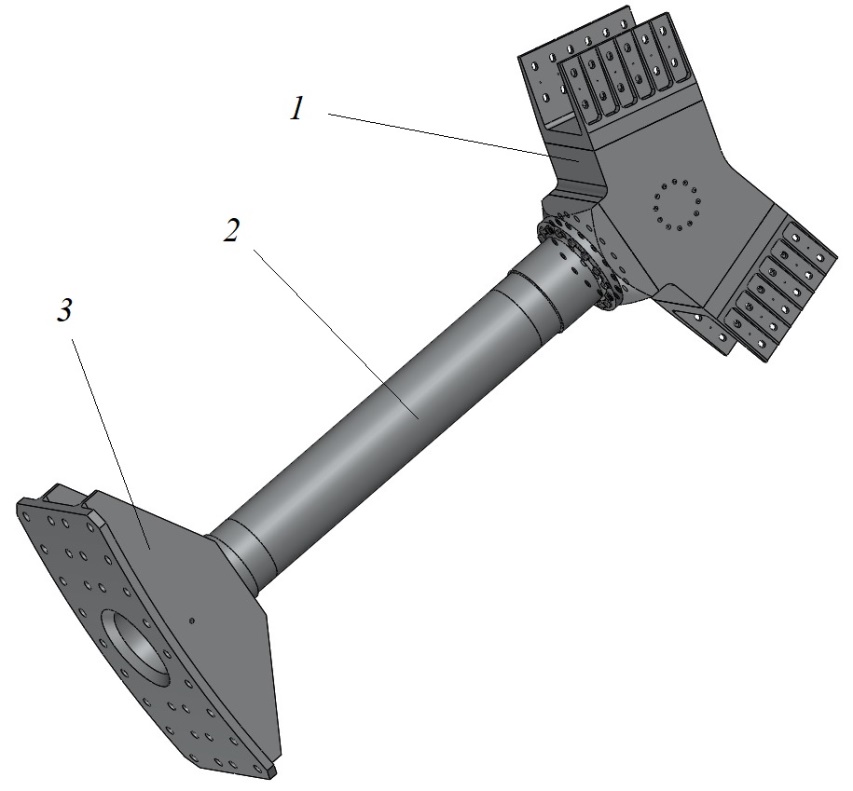


Рисунок 2 – Опора НФ КА

Опора состоит из трех частей: 1 – основание, 2 – балка, 3 – пята. Основание 1 крепится к балке 2 с помощью болтов. Для обеспечения стабильного положения основания 1 относительно балки 2 используются штифты. Крепление пяты 3 к балке 2 осуществляется с помощью сварки.

Основание 1 предназначено для закрепления опоры на кронштейнах НФ. На торцах основания 1 выполнены пазы и предварительные отверстия под штифты, необходимые для закрепления опоры. На поверхности пяты 3 предусмотрены 30 гладких отверстий Ø22 мм, предназначенных для крепления опоры к сегменту. Все элементы опоры, кроме крепежных изделий, выполнены из сплава АМг6.

Масса опоры равна 81,6 кг.

**3 Проверочный прочностной расчет опоры НФ**

Проверочный прочностной расчет опоры НФ КА был проведен в системе конечно-элементного анализа *ANSYS* в модуле *Static Structural*. Для проведения расчета была определена расчетная нагрузка, действующая на опору НФ и составлена расчетная модель опоры НФ КА.

**3.1 Определение реакций в опорах**

Для определения нагрузок, действующих на опоры, необходимо определить реакции, возникающие в опорах. На рисунке 3 показана расчетная схема КТМ «ТЭМ» для определения реакций в опорах.

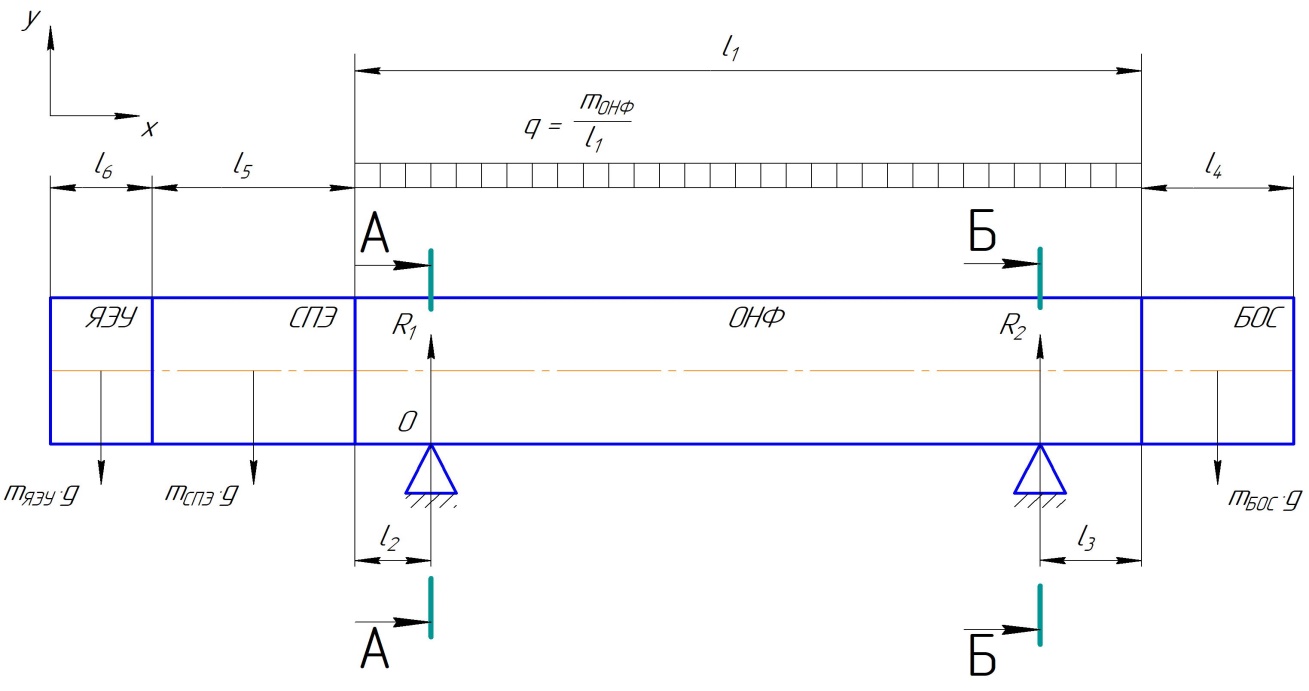


Рисунок 3 – Расчетная схема определения реакций

Перераспределение силы реакции *R1* в опорах в силовом поясе (сечение А-А) показано на рисунке 4. Перераспределение силы реакции *R2* (сечение Б-Б) аналогично сечению А-А.

На схеме используются следующие обозначения:

*mЯЭУ* – масса макета ядерной энергетической установки;

*mСПЭ* – масса макета системы преобразования энергии и рамы энергоблока;

*mОНФ* – масса макета отсека несущих ферм;

*mБОС* – масса блока обеспечивающих систем;

*R1*, *R2* – реакции в силовых поясах.

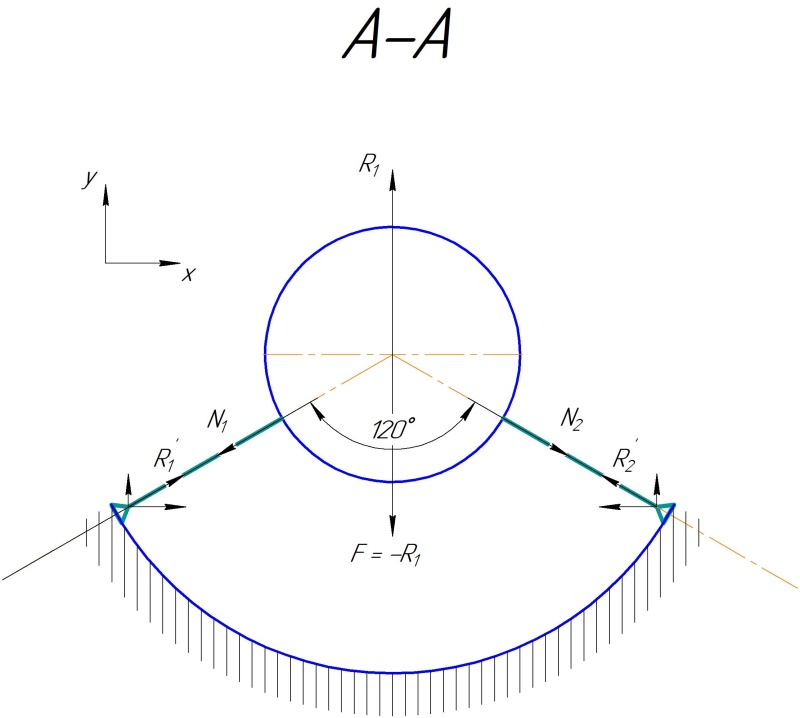


Рисунок 4 – Перераспределение силы реакции в опорах

При расчете были использованы следующие данные:



Для определения реакций *R1* и *R2* составим и решим систему уравнений:



где:



Подставив значения и решив систему уравнений, получим:



Т.к. реакция *R1 > R2*, то последующие расчеты будем проводить для значения реакции *R1*.

С учетом коэффициента безопасности *f*=1,5, расчетное значение реакции равно:

*R1* = 179097 Н

**3.2 Расчетная модель опоры. Результаты проверочного**

**прочностного расчета**

Для получения расчетной модели из конструкции опоры были исключены крепежные изделия (болты, штифты), футорки, отверстия под них. Расчетная модель представляет собой две опоры, размещенные в одном силовом поясе, и соединенные с помощью двух перемычек (рисунок 4). Перемычки служат для связи опор и приближения расчетной модели к реальному нагружению.

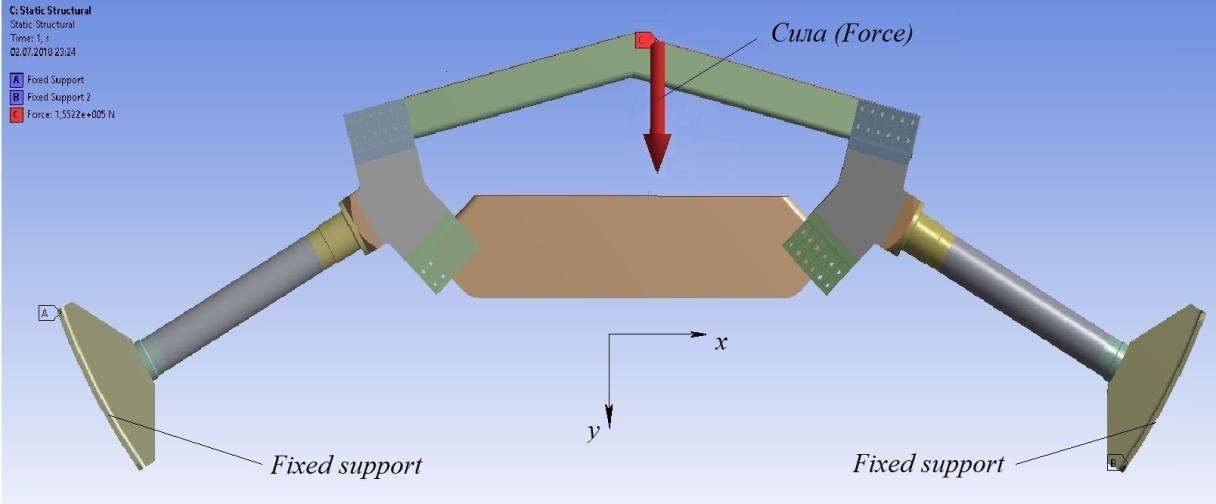


Рисунок 4 – Расчетная модель опоры НФ

В системе конечно-элементного анализа *ANSYS* в модуле *Static Structural* были заданы следующие параметры расчетной модели:

- закрепление типа *Fixed Support* на отверстиях пяты 3 (рисунок  5);

- система координат, связанная со шпангоутами КА и повернутая на 60° относительно оси опоры НФ (рисунок 4);

- сила *Force*, равная 179097 Н (рисунок 4).

В результате проведенного расчета было получено напряженно-деформированное состояние (НДС) конструкции опоры НФ КА. Наиболее нагруженным элементом является балка 2. Напряжения, возникающие в балке, показаны на рисунке 6.

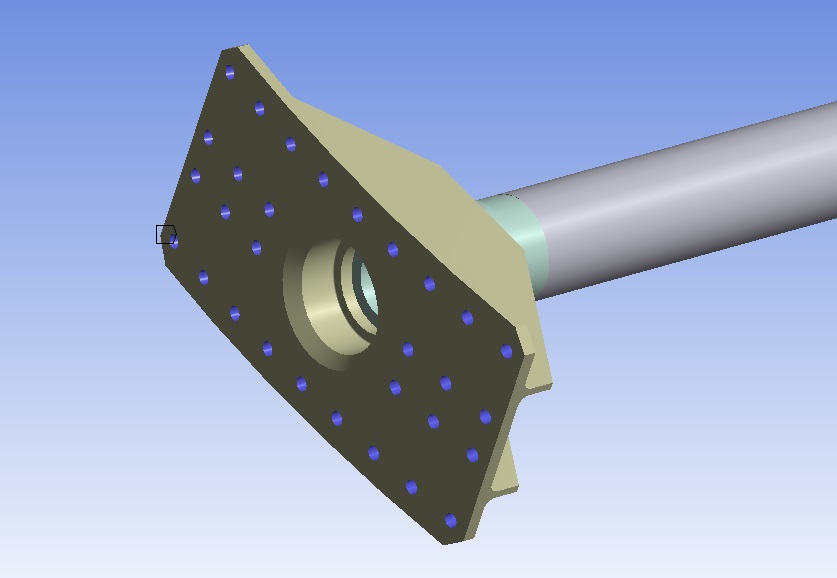


Рисунок 5 – Закрепление пяты

Наибольшее значение напряжений, возникающих в балке, равно σ  = 107 МПа. С учетом, что предел прочности для АМг6 принимался при расчете σв = 350 МПа, коэффициент запаса равен:



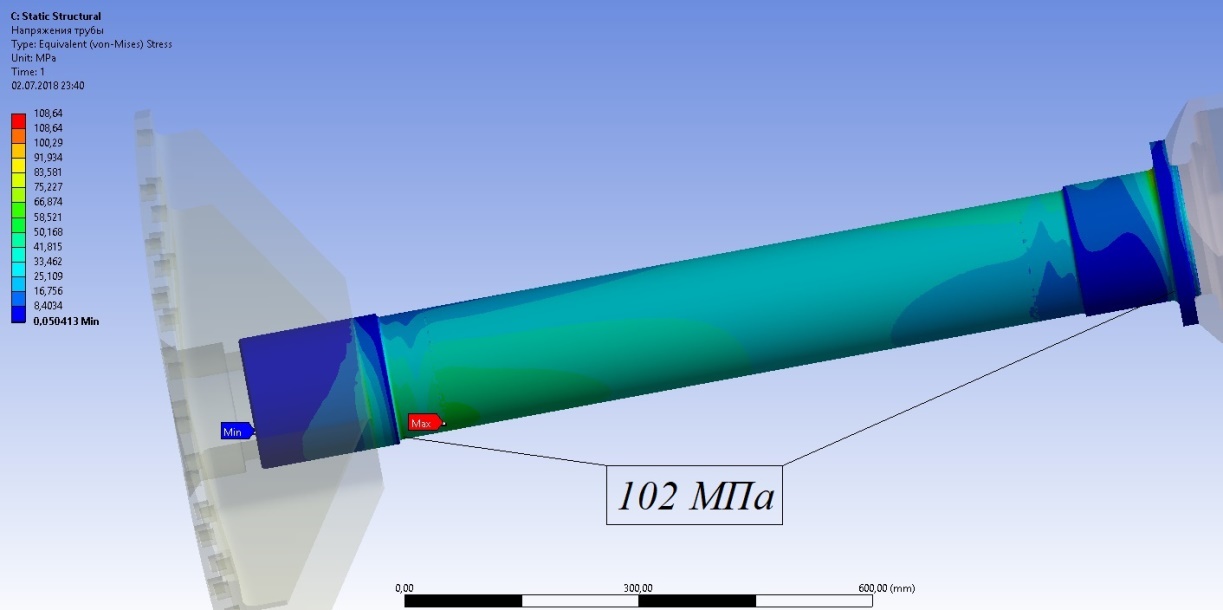


Рисунок 6 – НДС балки опоры

Деформации, возникающие в балке, показаны на рисунке 7:

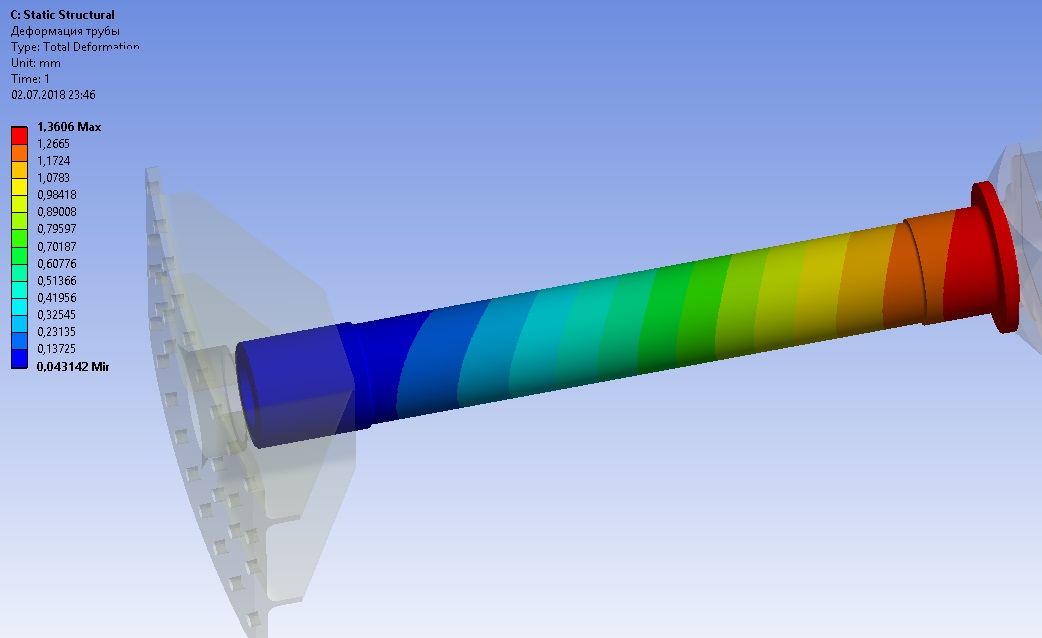


Рисунок 7 – Деформации, возникающие в балке

Наибольшая величина деформации в трубах по модулю равна 1,25 мм.

**4 Расчет опоры на устойчивость**

Расчет на устойчивость проводится для балки 2 опоры. Балка имеет следующие геометрические характеристики:

*l* = 1016∙10-3 м – длина балки;

*D* = 160∙10-3 м – наружный диаметр балки;

*d* = 140∙10-3 м – внутренний диаметр балки;

Материал: АМг6

*E* = 7,1∙1010 Па – модуль упругости;

σв = 400∙106 Па – предел прочности;

σ0,2 = 310∙106 Па – предел прочности;

Т.к. отношение , где R – радиус балки, δ – толщина стенки балки, то будем рассматривать балку 2, как стержень.

Условие устойчивости:



Определение критического напряжения  осуществляется следующим образом:

Определим гибкость стержня:



где *i* – наименьший радиус инерции сечения



где *I* – центральный момент инерции поперечного сечения стержня;

*F* – площадь поперечного сечения стержня.

Т.к. поперечным сечением балки является кольцо, то:





Тогда:

*i* = 0,053 м

*λ* = 19,119.

Определим предельную гибкость стержня:



Т.к. , то  может быть определена по следующей формуле:



Также необходимо учитывать, что короткие стержни будут выходить из строя главным образом за счет того что напряжения сжатия в них будут достигать значений напряжений предела текучести σ0,2. Т.к. АМг6 является пластичным материалом, то примем:

σ*кр* = σ0,2 = 310∙106 Па

Определение расчетного значения напряжения  осуществляется следующим образом:



где  – эквивалентная продольная нагрузка



На рисунке 8 показаны силы, сжимающие опоры. Из рисунка видно, что сила *F*, действующая в силовом поясе, приводит к возникновению двух сжимающих сил , действующих на опоры. Каждая из этих сил может быть разложена на горизонтальную и вертикальную составляющие соответственно.

Из рисунка 8 видно, что:



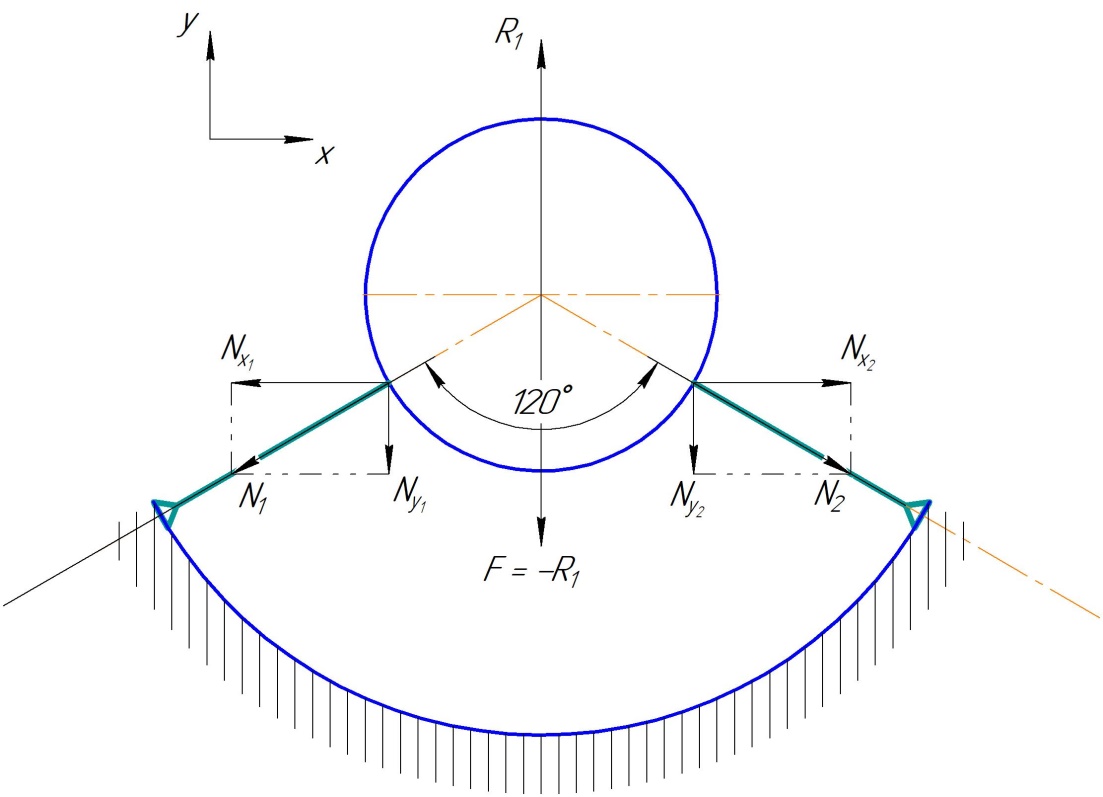


Рисунок 8 – Определение сил, действующих на опоры

Тогда:



С учетом коэффициента безопасности *f* = 1,5 получим:



Тогда:



Коэффициент запаса устойчивости равен:



**Заключение**

Был проведен проверочный прочностной расчет конструкции опоры НФ макета КА ТЭМ. Деформации, возникающие в конструкции, являются упруго-пластическими.

Наибольшие напряжения, возникающие в конструкции опоры равны 107 МПа. Коэффициент запаса прочности равен 3,27. Коэффициент запаса устойчивости конструкции равен 8,62. На основании результатов расчета можно сделать вывод о том, что конструкция не теряет устойчивость и не разрушается под действием нагрузок.

На основе модели конструкции опоры НФ была разработана конструкторская документация, которая будет использована при изготовлении макета КА ТЭМ.

**Список использованных источников**

1. 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.
2. Конструкция и проектирование космических летательных аппаратов. Учебник для средних специальных учебных заведений /Н.И. Паничкин, Ю.В. Слепушкин, В.П. Шинкин, Н.А. Яцынин. – М.: Машиностроение, 1986. – 344 с., ил.
3. Беляев Н.М. Сопротивление материалов. М., 1965 г., 856 стр. с ил.
4. 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.
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. генерала А.А. Максимова, 2016.- 800 с., ил., цв. вкл.
6. Гущин В.Н. Основы устройства космических аппаратов. М.: Машиностроение, 2003. 415 с.
7. 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.