УДК 519.876.5

**ТОПОЛОГИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ КРОНШТЕЙНОВ КАРКАСА МЕХАНИЗМА РАЗВОРОТА БЛОКА БАЛЛАСТНОЙ НАГРУЗКИ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА**

**Буксар М.Ю., Смирнов К.О.**

*АО «КБ «Арсенал» им. М.В. Фрунзе»*

В связи с ростом энерговооруженности космических аппаратов (КА), возрастает масса КА, выводимых на околоземные рабочие орбиты [1]. Все более актуальным становится вопрос создания изделий с высоким массовым совершенством. Решение данной проблемы связано с задачей поиска оптимальных геометрических параметров проектируемого изделия [2].

Оптимизация конструкции включает в себя три тесно связанные, но различные по своей постановке и методам решения задачи — оптимизации размеров, формы и топологии. Оптимизация размеров является простейшим из трех видов оптимизации. Ее задачей является подбор оптимальных геометрических параметров конструкции. Оптимизация формы непосредственно определяет форму конструкции и является побочным результатом [2].

Топологическая оптимизация (ТО)– это оптимизация распределения материала в проектной области при воздействии на нее заданных нагрузок и использовании ограничений различного рода: геометрических, прочностных, жесткостных и др. Цель ТО - нахождение оптимального распределения материала в заданной области проектирования. Особенностью задач ТО является то, что область проектирования известна заранее, и она фиксирована в процессе оптимизации, а переменной проектирования является сама форма. В настоящее время модули ТО включены во многие CAD/CAE- системы, такие как: *Altair Hyperworks*, *ANSYS*, *Catia*, *MSC Nastran*, *SolidWorks*.

В работе [4] описана конструкция механизма разворота блока балластной нагрузки (ББН) КА. Было выдвинуто предположение о возможности улучшения массовых характеристик кронштейнов каркаса механизма разворота ББН с помощью методов ТО (рисунок 1).

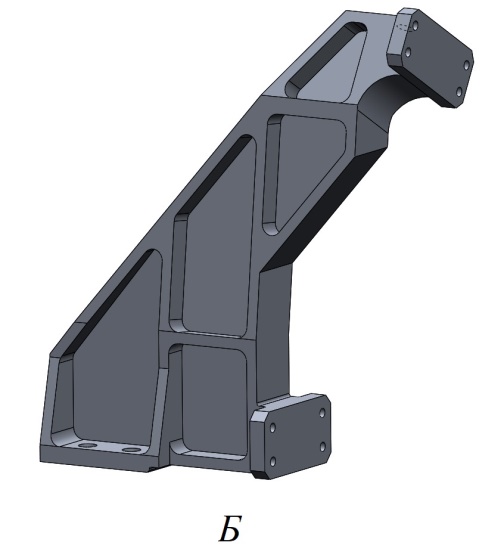
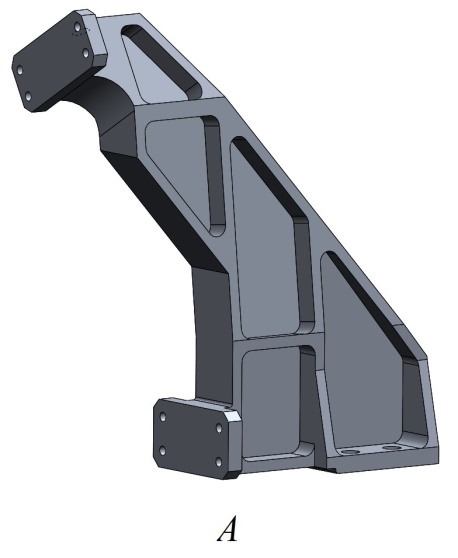


Рисунок 1 – Кронштейны каркаса механизма разворота ББН

А – левый кронштейн, Б- правый кронштейн

Расчет проводился в системе конечно-элементного анализа *ANSYS* в модуле *Topology Optimization*. Для расчета были использованы данные о перегрузках, действующих на конструкцию на различных этапах эксплуатации. Критерием оптимизации была выбрана масса (*Mass*). В качестве ограничений были выбраны производственное ограничение на минимальную толщину стенки (2 мм), и напряжения по Мизесу, возникающие в конструкции (от 50 до 200 МПа). Были заданы механические свойства алюминиевого сплава Д16Т.

Схема проекта ТО, созданная с помощью платформы *ANSYS Workbench* показана на рисунке 2. Расчет проводился в несколько этапов:

1. Определение напряжений, действующих в кронштейнах.

2. Топологическая оптимизация конструкции кронштейнов каркаса механизма разворота ББН.

3. Проверочный прочностной расчет полученной конструкции кронштейнов.

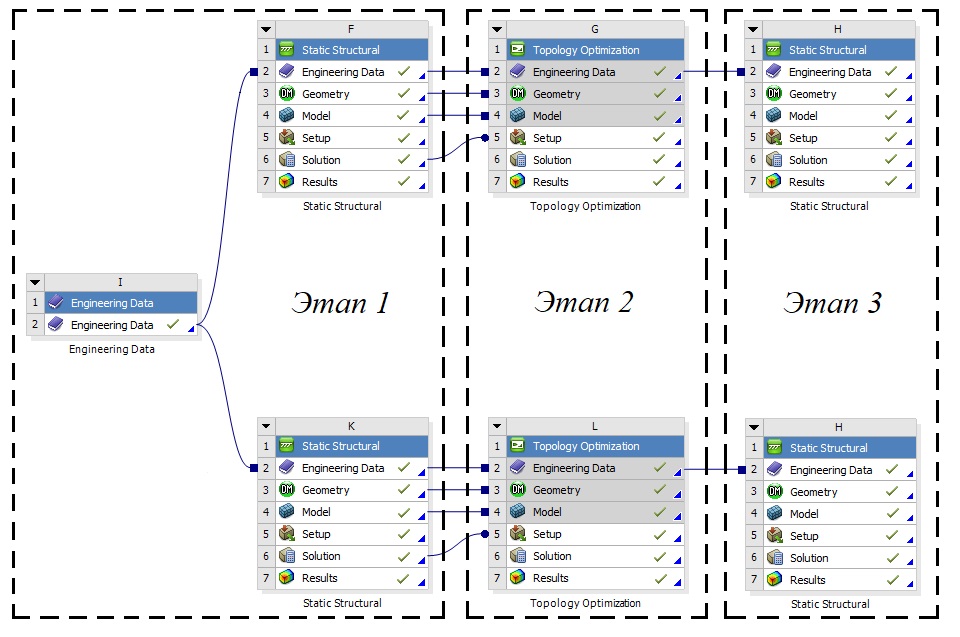


Рисунок 2 – Схема проекта ТО кронштейнов механизма разворота ББН в *ANSYS Workbench*

На рисунке 3 показан результат оптимизации конструкции левого кронштейна для одного из этапов эксплуатации. После завершения процесса оптимизации полученные варианты конструкции были доработаны и адаптированы к изготовлению стандартными методами механической обработки. На рисунке 4 показана доработанная конструкция левого и правого кронштейнов.

В таблице 1 указаны массовые характеристики оптимизированной конструкции кронштейнов в сравнении с массовыми характеристиками штатной конструкции кронштейнов.

Таблица 1 – Сравнение массовых характеристик кронштейнов

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | Кронштейн А | Кронштейн Б | Σ |
| Масса штатного варианта конструкции кронштейнов, кг | 5,05 | 5,05 | 10,1 |
| Масса оптимизированного варианта конструкции кронштейнов, кг. | 3,91 | 3,91 | 7,82 |

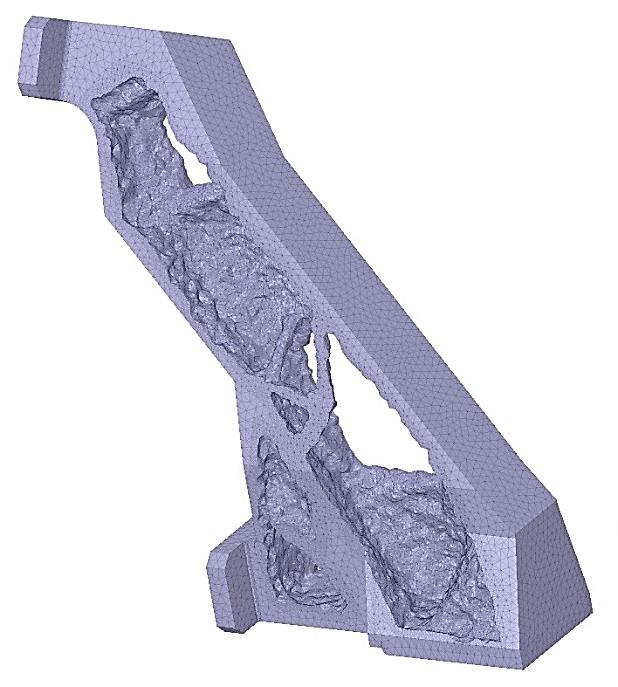


Рисунок 3 – Оптимизированная конструкция левого кронштейна

Проведенные прочностные расчеты показали, что полученная конструкция кронштейнов каркаса механизма разворота ББН выдерживает действующие на нее нагрузки на различных этапах эксплуатации. Коэффициент запаса η0,2 = 1,2.

Применение методов ТО приводит к существенному уменьшению массы конструкции (до 23%). При этом в результате адаптации конструкции кронштейнов для изготовления методами механической обработки в кронштейнах остались малонагруженные области, которые могли бы быть удалены при адаптации конструкции кронштейнов для изготовления с помощью аддитивных технологий.



Рисунок 4 – Оптимизированная конструкция кронштейнов каркаса механизма разворота ББН

А – левый кронштейн, Б- правый кронштейн

**Библиографический список**

1. *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.

2. *Башин К.А., Торсунов Р.А., Семенов С.В.* Методы топологической оптимизации конструкций, применяющиеся в аэрокосмической отрасли // Вестник ПНИПУ. Аэрокосмическая техника. 2017. № 51 с. 51-61.

3. *D. Gunwant; A. Misra* Topology Optimization of Sheet Metal Brackets Using ANSYS// MIT International Journal of Mechanical Engineering *Vol. 2, No. 2, Aug. 2012, pp. (120-126)****.***

4. *Буксар М.Ю., Евстафьев В.А., Серебренников В.Ю.* Разработка и проверочный расчет конструкции механизма разворота блока балластной нагрузки космического аппарата//Библиотека журнала «Военмех. Вестник БГТУ», № 44 с. 14-15.