

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО СТЕНДА «ОДНОСЕКЦИОННАЯ СОЛНЕЧНАЯ БАТАРЕЯ»

*Д.К. Новиков, студент гр. 8Е92,  
А.С. Беляев, ассистент ОАР,  
Томский политехнический университет  
E-mail: dkn3@tpu.ru*

### Введение

Разработка космического аппарата (КА) является довольно дорогостоящей, поскольку его функционирование происходит в экстремальных условиях космоса, где требования к надежности крайне высоки, поскольку даже небольшая поломка может привести к выходу из строя КА [1]. Как следствие это ведет к существенным экономическим потерям ввиду необходимости повторного создания КА и его отправки. Следовательно, все элементы КА проверяют на работоспособность и надежность в земных условиях. Одним из основных элементов КА является раскрытие трансформируемых систем: солнечных батарей, рефлекторов антенн и др., тестирование которых в земных условиях производят с использованием систем обезвешивания, имитирующие условия близких к космосу за счет компенсации веса элементов КА. Для отработки процесса работы данных систем обезвешивания необходимо разработать стенд физического подобию трансформируемых элементов КА. Поэтому целью данной работы является создание стенда физического подобию односекционной трансформируемой солнечной батареи, как типового трансформируемого элемента КА.

### Описание модели стенда

Разрабатываемый стенд состоит из солнечной панели и балки, которая с одной стороны крепится к КА, а с другой стороны к солнечной панели.

Разработка самой модели солнечной батареи началась с трехмерного моделирования в САПР Inventor. В состав модели вошли балка, крепящаяся к КА, и одна рама для панели – такая конструкция используется на некоторых запускаемых спутниках – такая же конструкция будет использоваться и в самом стенде, чтобы не отходить от используемых решений [2].

После трехмерного моделирования данные звенья были собраны для физического стенда. Трапеция и рама собраны из металлических уголков, имитируя солнечную батарею КА. Трехмерная модель стенда солнечной панели и стенд физического подобию представлены на рисунке 1.



Рис. 1. Трехмерная модель стенда (слева) и стенд физического подобию (справа)

### Описание модели шарниров с зачековкой

Для крепления звеньев между собой было необходимо разработать модель шарниров, которые позволяли бы приводить стенд батареи в сложенное состояние, а также производить зачековку, как это делается и на настоящих КА [2] [3] [4]. Под зачековкой понимается фиксация положения раскрываемого элемента КА в заданной финальной позиции.

Разработка трехмерной модели шарнира с зачековкой также производилась в САПР Inventor. Для физического стенда было решено изготавливать шарниры из PLA пластика с применением технологии 3D печати. Были произведены расчеты прочности шарнира при нагрузке в четыре солнечных панели весом 10 кг, с помощью которых удалось получить геометрические размеры модели: внутренний (1) и внешний (2) диаметры частей шарнира и его высоту (3).

$$\begin{aligned}
[\sigma_{расч}] &= 55.3 \text{ МПа} \\
[\sigma_{Изгиб}] &= [\sigma_{расч}] \\
F_{\max} &= 4 \cdot 10 \text{ Кг} \cdot 9,8 \frac{\text{М}}{\text{с}^2} = 392 \text{ Н} \\
\frac{F_{\max}}{S} &\leq [\sigma_{Изгиб}] \rightarrow \frac{392 \text{ Н}}{\pi d^2} \leq 55.3 \text{ МПа} \rightarrow d \geq 3 \text{ мм} \quad (1) \\
\frac{F_{\max}}{S} &\leq [\sigma_{Изгиб}] \rightarrow \frac{4 \cdot 392 \text{ Н}}{\pi(d^2 - (20 \text{ мм})^2) - \frac{3}{4}(4 \text{ мм})^2} \leq 55.3 \text{ МПа} \rightarrow d \geq 20,5 \text{ мм} \quad (2) \\
\frac{F_{\max}}{S} &\leq [\sigma_{Изгиб}] \rightarrow \frac{392 \text{ Н}}{40 \text{ мм} \cdot x} \leq 55.3 \text{ МПа} \rightarrow x \geq 5 \text{ мм} \quad (3)
\end{aligned}$$

После проведения расчетов были сформированы модели и проведена проверка на прочность. Трехмерные модели частей шарнира и их исследование на прочность представлены на рисунке 2.

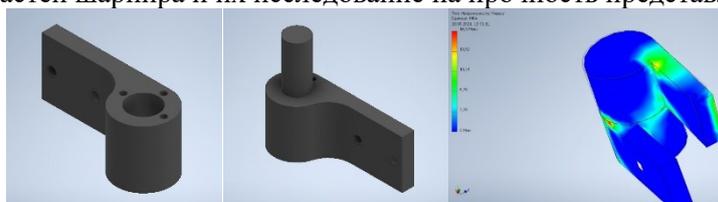


Рис. 2. Трехмерные модели частей шарнира и проверка прочности (справа)

Разработанная модель шарнира состоит из двух частей, которые вставляются одна в другую для обеспечения оси вращения. Разработанный шарнир не только обеспечивает вращение звеньев, но и зачековку для окончания процесса раскрытия. Для универсальности использования данного шарнира в верхней его части были предусмотрены отверстия для установки угла зачековки под 90, 180 и 270 градусов.

### Заключение

В результате были разработаны трехмерные модели односекционной солнечной батареи и шарнира с возможностью зачековки. Шарниры были изготовлены с помощью технологии трехмерной печати, был собран натурный стенд трансформируемой солнечной батареи. Изготовленный стенд подтвердил работоспособность шарниров с зачековкой и позволяет тестировать систему обезвешивания трансформируемых механических систем.

### Список использованных источников

1. Разработка модели и системы управления мобильным роботом для обезвешивания солнечных панелей / А.С. Беляев [и др.] // Известия ТулГУ. – 2020. – № 12. – С. 3-11
2. Схемы раскрытия фотоэлектрических батарей. Классификация схем раскрытия фотоэлектрических батарей [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://vunivere.ru/work62044>. – Дата доступа: 18.02.2022.
3. Отработка и настройка опорной системы крупногабаритного рефлектора / П.С. Зырянова [и др.] // Решетневские чтения. – 2017. – № 21. – С. 125-126
4. Испытания макета трансформируемого модуля космических планетных станций / И.И. Хамиц [и др.] // Космическая техника и технологии. – 2020. – № 28. – С. 60-70