

Изготовление данной модели предполагается осуществлять с помощью 3D принтера из углепластика. Преимущества: малый вес, высокая прочность, отличная работа на растяжение.

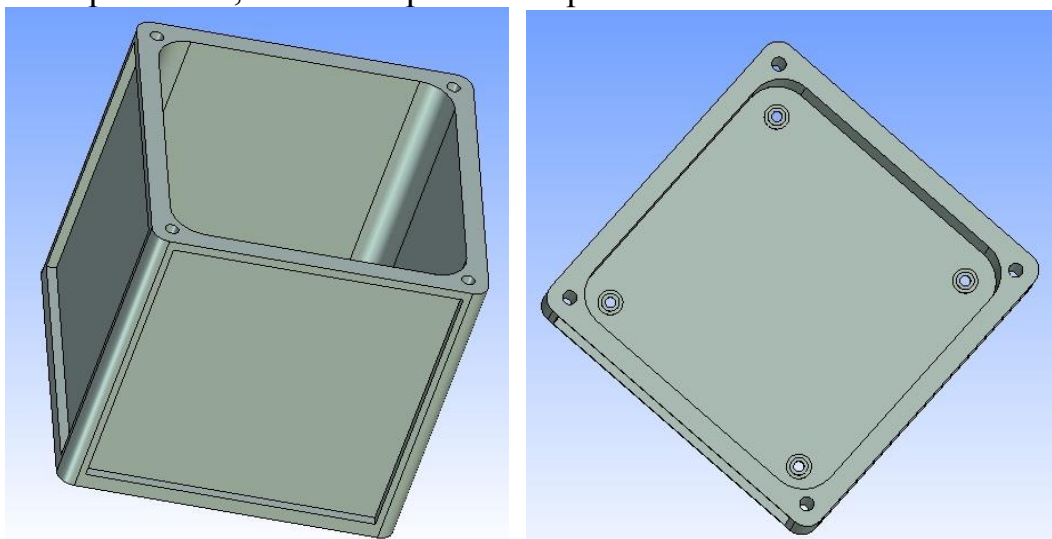


Рис. 6. Конструкция корпуса, в программе T-Flex

Для подъема стратосата на необходимую высоту, используется метеорологический шар наполненный гелием. Причина выбора данного метода — высокие показатели подъемной силы и надежности метеорологического шара.

После проведения исследований в стратосфере летательный аппарат осуществляет спуск с парашютом. В данном стратостате, парашют будет крепиться между шаром и полезной нагрузкой.

Уже сейчас, можно сказать, что данная конструкция не уступает многим стратостатам, которые были разработаны и запущены группами энтузиастов. Поэтому в ближайшее время, планируется сборка и запуск разработанного стратосата.

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ СПУТНИКА ФОРМАТА CUBESAT С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ T-FLEX CAD**

*Битуева М.И.*

*Томский политехнический университет, г. Томск,  
Научный руководитель: Костюченко Т.Г., к.т.н., доцент  
кафедры точного приборостроения*

В 2016 г. в ТПУ предполагается запуск университетского малого космического аппарата (МКА). В настоящее время ведется работа по проектированию аппарата. В рамках этой работы проводится

исследование различных вариантов корпуса МКА, в частности, формата CubeSat, варианты 1U, 2U, 3U.

CubeSat — формат малых (сверхмалых) космических аппаратов для исследования космоса. Спутники CubeSat обычно имеют объем до 1 литра и массу, не превышающую 1.33 кг или немного больше [1]. Относительная легкость создания и небольшая стоимость сделала такие спутники доступными для массового производства.

Проектированием и созданием спутников формата CubeSat в большинстве своем занимаются университеты, но кроме них, еще и крупные компании, например, Boeing, а также частные компании, любительские объединения и даже школы.

На рисунках 1 - 3 представлены примеры 3D модели вариантов корпусов, рассматриваемых для университетского спутника.

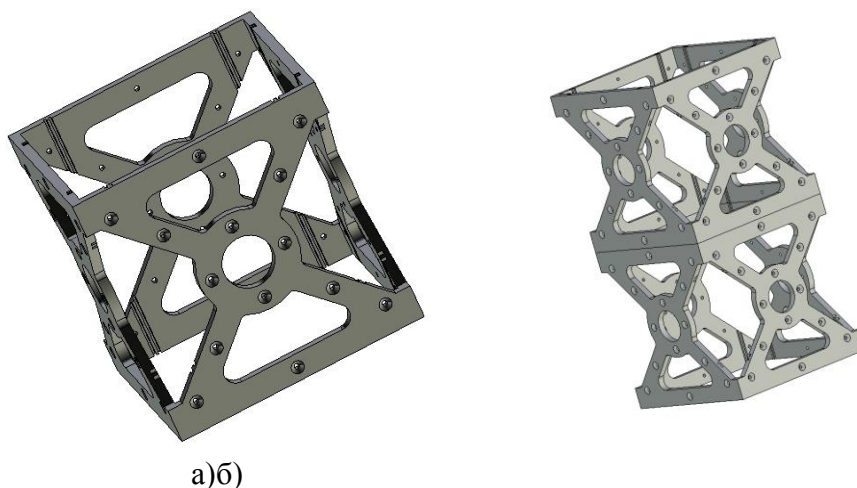


Рис. 1. Конструкция спутника CubeSat размером:  
а) 1U; б) 2U

В процессе проектирования изделий космического назначения часто необходимо оценить как наиболее значимые физико-математических свойства деталей и узлов, так и изделия в целом. Например, необходимо оценить прочность деталей при заданных нагружениях или максимальные деформации корпуса изделия. В настоящий момент для решения этих вопросов используется метод конечных элементов [2].

T-FLEX Анализ – это интегрированная с T-FLEX CAD среда конечно-элементных расчётов. Используя T-FLEX Анализ, пользователь системы T-FLEX CAD имеет возможность осуществлять математическое моделирование распространённых физических явлений и решать важные практические задачи, возникающие в повседневной

практике проектирования. Все расчёты ведутся с применением метода конечных элементов (МКЭ). При этом между трёхмерной моделью изделия и расчётной конечно-элементной моделью поддерживается ассоциативная связь. Параметрические изменения исходной твердотельной модели автоматически переносятся на сеточную конечно-элементную модель [3].

Конечно-элементное моделирование поведения проектируемого объекта можно рассмотреть на примере T-Flex Анализ для двух видов анализа: статического и частотного.

Основная цель статического прочностного анализа конструкций заключается в оценке напряжённого состояния конструкции, находящейся под действием не изменяющихся во времени (статических) силовых воздействий. Эта оценка напряжённого состояния выполняется обычно с целью проверки принятых конструкторских решений на условие прочности [4].

Основными результатами статических расчётов являются:

- поля перемещений конструкции в расчётных точках конечно-элементной сетки;
- поля относительных деформаций;
- поля компонентов напряжений;
- энергия деформаций;
- узловые усилия;
- поля распределения коэффициента запаса по напряжениям по объёму конструкции;

Этих данных обычно достаточно для прогнозирования поведения конструкции и принятия решений для оптимизации геометрической формы изделия с целью обеспечения основных условий прочности изделий.

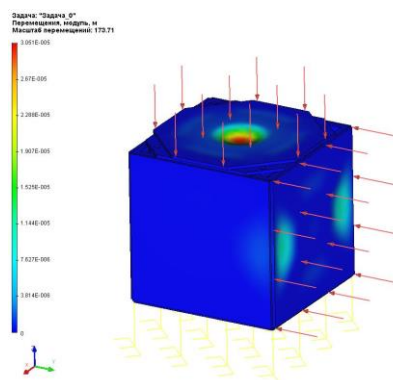


Рис. 2. Пример результатов статического анализа корпуса 1U

Модуль частотного анализа предназначен для расчёта собственных (резонансных) частот колебаний конструкций и соответствующих им

форм колебаний. Задача расчёта собственных частот и соответствующих им форм колебаний возникает во многих практических случаях анализа динамического поведения конструкции под действием переменных нагрузок.

Результатами частотного анализа являются:

- частота собственных колебаний (Гц) – соответствует ожидаемой резонансной частоте конструкции. Теоретически количество собственных частот для любого тела бесконечно. В результатах отображаются только частоты выбранных форм собственных колебаний.

- форма собственных колебаний, соответствующая данной частоте. Форма колебаний показывает, какие относительные деформации (перемещения) будет испытывать конструкция, в случае возникновения резонанса несоответствующей собственной частоте. Эти формы колебаний, после завершения расчёта, представляют собой относительные амплитуды колебаний. Анализируя эти формы, можно сделать заключение о характере резонансных перемещений, но не об их физической амплитуде [5].

В задаче частотного анализа роль граничных условий выполняют только закрепления. Задание закреплений является обязательным условием выполнения корректного частотного расчёта. Суммарно наложенные на перемещение тела ограничения должны удовлетворять следующему условию:

Для обеспечения частотного анализа модель должна иметь закрепление, исключающее её свободное перемещение в пространстве, как твёрдого тела. Невыполнение этого условия приведёт к неверным результатам конечно-элементного моделирования или срыву вычислительного процесса.

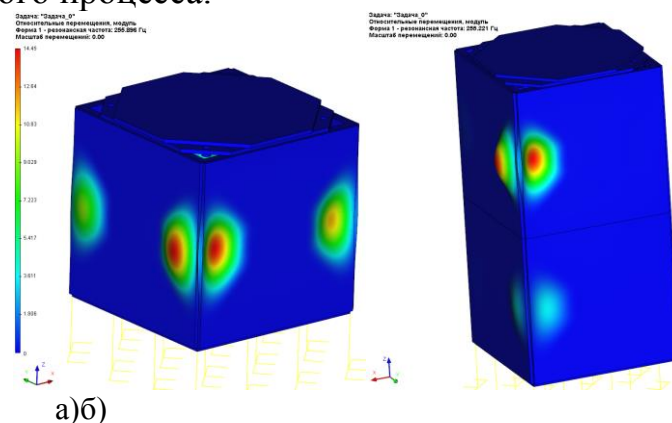


Рис. 3. Пример результатов частотного анализа корпусов:  
а) 1U; б) 2U

## Список информационных источников

1. CubeSat Design Specification Rev. 12. California State Polytechnic University

2. Костюченко Т.Г. САПР в приборостроении: учебное пособие. – Томск: Изд. ТПУ, 2009. - 156 с.

3. T-Flex анализ// Пособие по работе с системой. – АО «Топ Системы», Москва, 2009, Редакция 6.

4. Костюченко Т.Г. T-Flex Анализ. Статические прочностные расчеты конструкций. Методические указания по выполнению лабораторного практикума. – Томск: Изд. ТПУ, 2005. - 31 с.

5. Костюченко Т.Г. T-Flex Анализ. Расчет собственных частот и форм колебаний конструкций. Методические указания по выполнению лабораторного практикума. – Томск: Изд. ТПУ, 2005. - 21 с.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО АКСЕЛЕРОМЕТРА В КОСМИЧЕСКОМ ПРИБОРОСТРОЕНИИ

*Бояхчян А.А.*

*Томский политехнический университет, г. Томск*

*Научный руководитель: Гормаков А.Н., к.т.н., доцент кафедры  
точного приборостроения*

В настоящее время почти во всех областях измерения и анализа механических колебаний используются акселерометры. Одним из областей применения является космическое приборостроение, в частности акселерометры используются в системах инерциальной навигации для определения ускорения объекта и его угловых скоростей. Одними из таких акселерометров являются акселерометры, основанные на пьезокерамике. Преимущество пьезоэлектрических акселерометров в том, что они отличаются от других датчиков широкими рабочими частотным и динамическим диапазонами, линейными характеристиками, прочной конструкцией и долговременной стабильностью параметров [1].

Идеальным считался бы акселерометр с высокой чувствительностью, широким рабочим частотным диапазоном и минимальной массой. К сожалению, требование высокой чувствительности противоречит требованию малой собственной массы и возможно широкого частотного диапазона. По этой причине разрабатывается и выпускается богатый ассортимент акселерометров,