

УДК 629.7

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ СОЗДАНИЯ АЭРОДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

© Колотилин Е.А., Баранова А.М., Чиндяева Ю.А.,  
Куркин Е.И., Куркина Е.В.

*Самарский национальный исследовательский университет  
имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация*

e-mail: ekaterina.kurkina@mail.ru

Современные исследования направлены на стабилизацию неустойчивых параметров движения космического аппарата (КА) на фазе входа в атмосферу и улучшение летно-технических характеристик при входе в нее. Траектория, параметры движения КА и точность спуска, а также максимальная перегрузка существенно зависят от начального угла при входе в атмосферу и высоты полета КА [1; 2].

Mars Polar Lander – космический аппарат, действовавший в рамках программы NASA Mars Surveyor 98 для исследования поверхности и климата Марса. Космический аппарат Mars Polar Lander, по форме близкий к телу вращения (наибольший радиус 1,25 м, масса 576 кг) и совершающий снижение в атмосфере Марса [3].

Для исследования аэродинамических характеристик КА в аэродинамической трубе с использованием аддитивных технологий создана аэродинамическая модель в масштабе 1:24. Геометрическая модель КА, используемая для печати, создана в системе Siemens NX и состоит из двух тел – хвостовой и передней части. Подготовка к печати осуществлена с использованием программного обеспечения IdeaMaker, в котором проведено разделение на слои печати с указанием высоты укладываемого слоя, определены количество слоев для крышки хвостовой и передней частей, тип заполнения внутренних полостей.

В качестве материала для 3D-печати ABS Carbon – армированный угольными волокнами сополимер акрилонитрил-бутадиен-стирол ввиду низкой усадки при печати. Особенностью использования ABS Carbon является необходимость печати внутри закрытой камеры, которая бы предохраняла модель от перепадов температур и сквозняков.

Печать аэродинамической модели КА проведена на 3D-принтере Raise N2 Dual со стальным соплом диаметром 0,5 мм, закрытой камерой и размерами платформы 305 x 305 мм. После подготовки модели к печати донная часть модели КА была отправлена на печать первой для того, чтобы после изготовления она могла выступать в роли шаблона под посадку передней части. Печать хвостовой части модели заняла около 8 часов, передней части – около 4 часов (рисунок 1, а).

После печати аэродинамической модели проведена механическая доработка ее поверхности. Убраны поддержки, которые выстраиваются при печати нависающих элементов, и доведена шероховатость поверхности до наиболее гладкого состояния. Для этого вначале проведена виброгалтовка напечатанных заготовок, при которой в качестве абразива использовались мелкие камушки треугольной формы. С помощью виброгалтовки удалось немного сгладить грани, но на одной из деталей были выявлены дефекты в виде отслаивания пластика. После виброгалтовки проведена шлифовка деталей модели наждачной бумагой с последующим повышением зернистости. Методом доводки поверхности была выбрана грунтовка и последующая шлифовка детали. Сначала было нанесено несколько пробных слоев грунтовки для обеспечения

адгезии грунта с поверхностью модели. После покрытия пластика дополнительно нанесено еще пять слоев грунта. После нанесения грунта поверхность доведена с помощью наждачной бумаги мелкой зернистости (рисунок, б).

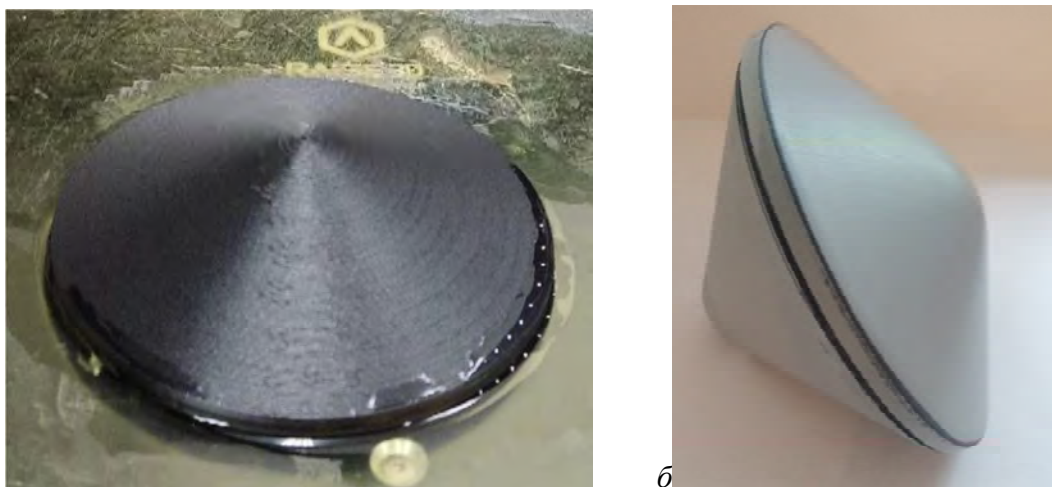


Рисунок – Производство аэродинамической модели Mars Polar Lander в масштабе 1:24:  
а – 3D-печать; б – готовая модель

Исследование аэродинамических характеристик изготовленной модели проведено в аэродинамической трубе Т-3 СГАУ. Модель размещена на аэродинамических весах с использованием  $\alpha$  механизма, позволяющего автоматически изменять угол атаки для построения поляры аэродинамических характеристик космического аппарата. Продувки в трубе проведены при углах атаки от  $-8$  до  $18$  градусов с шагом в два градуса при скорости набегающего потока  $25$  м/с. Измерения на тензовесах проведены с потоком и без потока для последующего исключения влияния веса модели.

Осуществлено сравнение измеренных аэродинамических характеристик модели со значениями, полученными в ходе расчета методом контрольных объемов в системе ANSYS CFX. Расчетная сетка состоит из  $284$  тыс. элементов тетрагональной формы. Экспериментально полученные и расчетные характеристики показали хорошее соответствие.

*Авторы благодарят Лукьянова О.Е. за помощь в построении трехмерной геометрической модели космического аппарата и Тарасову Е.В. за помощь в проведении испытаний в аэродинамической трубе.*

### Библиографический список

1. Braun R.D., Manning R.M. Mars exploration entry, descent and landing challenges // J. Spacecr. Rockets. 2007. №44 (2), P. 310–323.
2. Дивеев А.И., Северцов Н.А., Шмалько Е.Ю. Синтез системы управления спуском космического аппарата в атмосфере Марса / Вычислительный центр имени Дородницына РАН. Россия, 2006.
3. Mars Polar Lander/Deep Space 2 Missions. URL: <https://mars.nasa.gov/mars-exploration/missions/polar-lander>.