

УДК 629.78

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ СОБСТВЕННЫХ ЧАСТОТ КОЛЕБАНИЙ ИМИТАТОРОВ ТРАНСПОРТНО-ПУСКОВЫХ КОНТЕЙНЕРОВ ДЛЯ НАНОСПУТНИКОВ

Фомин Д.В.<sup>1</sup>, Голых А.Е.<sup>1</sup>, Тарасов Д.С.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Амурский государственный университет, г. Благовещенск, Россия, e-office@yandex.ru

<sup>2</sup>Филиал АО «Центр эксплуатации объектов наземной космической инфраструктуры» –  
«Космический центр «Восточный»

*Ключевые слова:* имитаторы транспортно-пусковых контейнеров, наноспутники, собственные частоты колебаний, вибро-динамические испытания

Популярность малых космических аппаратов (МКА), таких как наноспутники, возрастает с каждым годом, в том числе благодаря возможности их попутного запуска. Одним из важных видов наземного тестирования этих МКА являются вибродинамические испытания. Размещение наноспутников на рабочем столе вибрационных стендов, как правило, осуществляется посредством имитаторов транспортно-пускового контейнера (ИТПК). Проектирование ИТПК является целью, для достижения которой, необходимо учитывать не только особенности устройства наноспутников, но и технические возможности вибростендов.

В данной работе представлены универсальные ИТПК для спутников стандарта CubeSat от 1U до 12U, спроектированные в САПР «Компас 3D» и изготовленные в Амурском государственном университете (АмГУ). В ходе проектирования данных ИТПК также решались задачи связанные с расчетом собственных частот колебаний этих устройств, проведенные в САПР «SolidWorks». По результатам моделирования и тестирования изготовленных образцов ИТПК все устройства показали, что отвечают заданным требованиям для осуществления вибродинамических испытаний наноспутников.

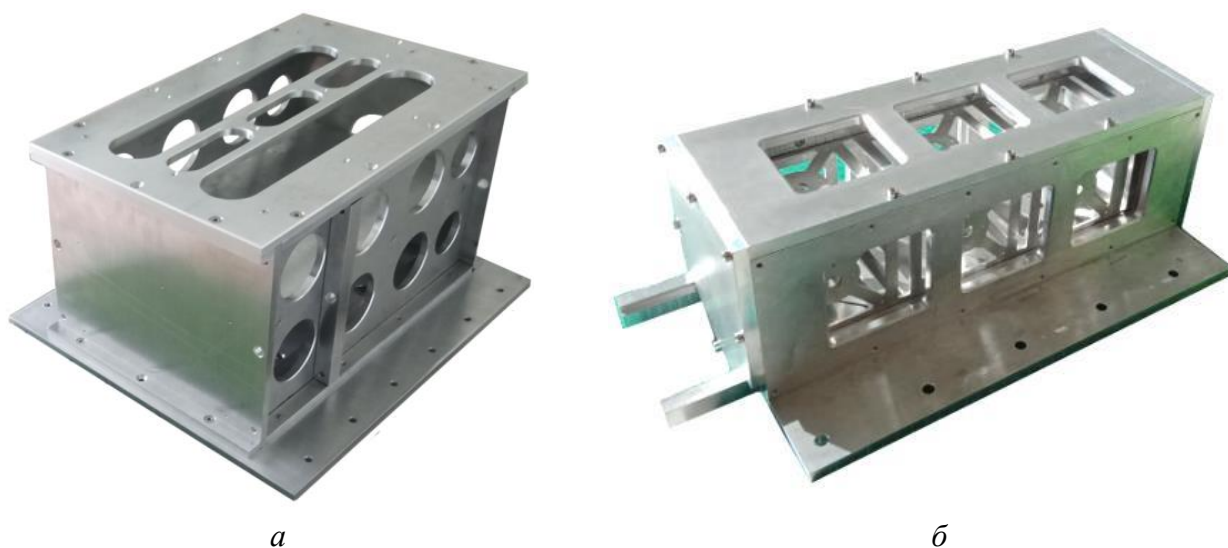


Рис. 1. Разработанные в НОЦ АмГУ универсальные имитаторы транспортно-пусковых контейнеров:  
а – для наноспутников CubeSat от 1U до 12U [1]; б – для наноспутников CubeSat от 1U до 3U  
(Заявка на полезную модель № 2021139634. Дата регистрации: 29.12.2021)

На рис. 1 представлены разработанные в НОЦ АмГУ универсальные имитаторы транспортно-пусковых контейнеров для наноспутников CubeSat, каждый из которых включает в себя: основание в виде плиты с отверстиями для крепления к столу вибростенда, вертикальные боковые стенки с угловыми направляющими для удержания корпусов наноспутников CubeSat, верхней горизонтальной крышки с отверстиями для установки датчиков виброметра на корпус МКА, а также вертикальных задней и передней крышек. Отличие заключается в способах установки наноспутников в ИТПК, наличии направляющих, выходящих за пределы корпуса ИТПК, а также способах подпружинивания МКА. Для тестирования спутников CubeSat 1U и 2U, в обоих ИТПК используются специальные проставки.

Важной процедурой механического анализа является модальный анализ, который предназначен для определения собственных частот и форм колебаний элементов конструкции, позволяющий избежать возбуждения деталей ИТПК на одной из собственных частот в процессе эксплуатации, что весьма актуально, поскольку последнее связано с вибродинамическими испытаниями [2-4].

Расчет собственных частот колебаний обоих ИТПК был проведен в диапазоне от 142,19 до 2189,60 Гц. В результате, анализ данных показал, что для первого ИТПК (см. рис. 1а) максимальная задействованная эффективная масса составляет 10% на 2 моде с частотой 793,08 Гц, а для второго ИТПК (см. рис. 1б) максимальная задействованная эффективная масса составляет 0,048% на всем диапазоне частот. Полученные результаты свидетельствуют о том, что обе рассматриваемые конструкции ИТПК имеют достаточный запас прочности, при этом выше он у второго ИТПК.

### Список литературы

1. Фомин, Д.В. Универсальный имитатор транспортно-пускового контейнера для поведения вибродинамических испытаний спутников стандарта CubeSat / Д.В. Фомин, Д.С. Тарасов // Патент на изобретение № 2758161. Дата регистрации: 26.10.2021.
2. Глазков, И.Е. Методика расчета собственных форм и частот космического аппарата / И.Е. Глазков, А.Г. Филипов, В.А. Филатов, А.А. Соболев // Современные научные исследования и разработки. – 2018. – № 12(29). – С. 234-239.
3. Федорцев, Р.В. Исследование величины деформации, напряжений и собственных частотных колебаний звездного датчика при эквивалентном инерционном нагружении / Р.В. Федорцев, Е.Ю. Рогожинский, К.В. Баркин, Д.В. Черенко // Приборы и методы измерений. – 2011. – № 2(3).
4. Дмитриев, В.С. Механический анализ исполнительного органа космического аппарата / В.С. Дмитриев, Т.Г. Костюченко, В.А. Скрипняк // Сборник трудов Томского политехнического университета. – 2009. – С.135-139.

Fomin D.V.<sup>1</sup>, Golikh A.E.<sup>1</sup>, Tarasov D.S.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Amur State University, Blagoveshchensk, Russia, e-office@yandex.ru

<sup>2</sup>Branch of JSC "Center for the Operation of Ground – based Space Infrastructure" –  
"Vostochny Space Center"

*Keywords: simulators of transport and launch containers, nanosatellites, natural oscillation frequencies, vibro-dynamic tests.*

The popularity of small spacecraft, such as nanosatellites, is increasing every year, including due to the possibility of their associated launch. One of the important types of ground testing of these small spacecraft are vibration-dynamic tests. The placement of nanosatellites on the desktop of vibration stands, as a rule, is carried out by means of simulators of a transport and launch container. The design of the simulators of a transport and launch container is a goal, to achieve which, it is necessary to take into account not only the features of the device of nanosatellites, but also the technical capabilities of vibration stands. This paper presents universal simulators of a transport and launch container for CubeSat standard satellites from 1U to 12U, designed in CAD "Compass 3D" and manufactured at Amur State University (AmSU). During the design of the simulators of a transport and launch container data, tasks related to the calculation of the natural oscillation frequencies of these devices, carried out in CAD "SolidWorks", were also solved. Based on the results of modeling and testing of manufactured simulators of a transport and launch container samples, all devices have shown that they meet the specified requirements for the implementation of vibrodynamic tests of nanosatellites.