УДК 621.03

**РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ВАКУУМНОЙ КАМЕРЫ ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ МАЛЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ**

**А.А. Комарова, Д.В. Фомин**

*Амурский государственный университет (г. Благовещенск)*

*alena-komarova-2019@inbox.ru*

*В работе представлены результаты расчета основных параметров вакуумной камеры для испытания малых космических аппаратов формата CubeSat (заявка на изобретение № 2021117193 от 15.06.2021). Построена трехмерная модель камеры в системе моделирования КОМПАС-3D. Показано, что для испытания спутников формата CubeSat 12 U оптимальный объем камеры составляет 0,067 м3. Определены размеры фланцев камеры, согласно международным стандартам. Рассчитано время достижения в камере давления 10-5 Па, при использовании откачного поста марки HiCube 80 Eco, составившее 2,3 часа.*

**CALCULATION OF THE PARAMETERS OF THE VACUUM CHAMBER FOR TESTING SMALL SPACECRAFT**

**A.A. Komarova, D.V. Fomin**

*Amur State University (Blagoveshchensk)*

*alena-komarova-2019@inbox.ru*

*The paper presents the results of calculating the main parameters of a vacuum chamber for testing small CubeSat spacecraft (application for invention No. 2021117193 from 15.06.2021). A three-dimensional model of the camera is constructed in the COMPASS-3D modeling system. It is shown that for testing CubeSat 12 U format satellites, the optimal chamber volume is 0.067 m3. The dimensions of the chamber flanges are determined, according to international standards. The time of reaching a pressure of 10-5 Pa in the chamber, when using a pumping station of the HiCube 80 Eco brand, was calculated, which was 2.3 hours.*

Проведение вакуумных испытаний студенческих спутников в Амурском государственном университете планируется осуществлять в научно-образовательном центре университета. На базе центра студенты университета уже получили положительный опыт проектирования спутников формата CubeSat, полезных модулей к ним и вспомогательных устройств, а также моделирования основных параметров этих устройств [1, 2 и др.].

 Процесс тестирования космических аппаратов (КА) в вакуумных камерах осуществляется в условиях имитирования космической среды, которая будет воздействовать на малый космический аппарат в реальных условиях. Это необходимо для определения успешности или неудачи космической миссии КА в будущем. Обязательным условием тестирования является создание в испытательной камере давления, при котором отсутствует конвективный теплообмен, поскольку в космическом пространстве практически отсутствует свободная конвекция и это может привести к выходу из строя, как отдельных элементов, так и целых узлов космического аппарата [3]. Как правило, тестовые вакуумные камеры рассчитываются на базовое давление 10-3 - 10-5 Па [4].

При разработке космического аппарата или связанного с ним оборудования важна тщательная отработка технической документации. Для этого подходит САПР «КОМПАС», представляющий собой профессиональную систему трехмерного моделирования, получившую широкое применение для множества промышленных предприятий и способную решить большинство основных задач проектировщика [5 – 7]. Размеры фланцев для вакуумных камер стандартизированы и широко представлены на сайтах компаний изготовителей вакуумной техники [8 и др.].

На первом этапе работы в системе трехмерного моделирования КОМПАС-3D была построена трехмерная модель вакуумной камеры для испытания малых космических аппаратов формата CubeSat (заявка на изобретение №2021117193 от 15.06.2021), представленная на рис. 1.



*Рис. 1.* 3D модель вакуумной камеры для испытания малых космических аппаратов формата CubeSat, выполненная в системе трехмерного моделирования КОМПАС-3D

Камера состоит из следующих компонентов: основания 1, верхнего фланца 2 с гермовводами, фланца-заглушки 3, вертикального фланца 4 с гермовводами, фланца 5 со смотровым окном, быстроразъемного фланца 6 с вентилем для подключения гофры откачного поста, поддерживающих опор 7. Материалом камеры и фланцев является нержавеющая сталь. Уплотнители, обеспечивающие герметичность соединений (на рисунке не показаны), выполняются из меди.

Учитывая стандартные габаритные размеры спутника формата CubeSat 12U (226,3х226,3х340,5 мм) [9], крепление, стандарты на фланцы, был определен оптимальный внутренний диаметр вакуумной камеры - 350 мм и её объём - 0,067 м3. В табл. 1 представлены типы фланцев, выбранные для проектируемого устройства.

*Таблица 1.*

**Фланцы вакуумной камеры**

|  |  |
| --- | --- |
| Тип фланца | Назначение |
| FB – CF350 | фланец-заглушка, фланец вертикальный |
| VP-CF300-SS/G7056 | фланец верхний |
| VP-CF200-SS/G7056 | фланец смотрового окна |
| FB – CF63 | фланец для подключения откачного поста |

На втором этапе был произведен расчет времени откачки спроектированной вакуумной камеры откачным постом HiCube 80 Eco до давления 10-5 Па.

Для этого использовались ниже представленные формулы (1)-(3) [10].

Производительность или пропускная способность Q (Па лс–1) определялась как:

$Q=p×\frac{dV}{dt},$(1)

где р – требуемое давление, Па; dV/dt – объем, проходящий за единицу времени.

Скорость откачки υ (лс–1):

$υ=\frac{Q}{p}$, (2)

где р – требуемое давление, Па; Q – производительность или пропускная способность, Па лс–1

Время, необходимое для откачки вакуумного объема от давления p1 до давления p2:

$t=\left(\frac{V}{S}\right)×ln\left(\frac{p\_{1}}{p\_{2}}\right)$, (3)

где V – объем вакуумной камеры, м3; S – быстрота действия вакуумного насоса, м3/с; p1 – начальное давление в вакуумной камере, Па; p2 – конечное давление в вакуумной камере, Па.

Из проведенных вычислений следует, что для достижения давления 10-5 Па в вакуумной камере потребуется 2,3 часа.

Таким образом, расчет основных параметров вакуумной камеры для испытания малых космических аппаратов, спроектированной в системе трехмерного моделирования КОМПАС-3D (заявка на изобретение №2021117193 от 15.06.2021) показал, что для испытания спутников формата CubeSat 12 U оптимальный объем камеры составляет 0,067 м3. Определены размеры фланцев камеры, согласно международным стандартам. При использовании откачного поста марки HiCube 80 Eco, время достижения давления 10-5 Па в вакуумной камере составит 2,3 часа.

**Л И Т Е Р А Т У Р А**

1. Modeling of three dimensional inhomogeneous thermal fields of nanosatellite electronic boards electronic / Barulina M.A., Golikov A.V., Fomin D.V., Strukov D.O.\ Information Systems. 2018. № 2 (17). С. 22.

2. Модуль полезной нагрузки для слежения за пожарами на платформе спутника Cubesat 3U / Д. В. Фомин, А. С. Кизима, А. Е. Гладков [и др.] // "Орбита молодежи" и перспективы развития Российской космонавтики: Материалы VI Всероссийской молодежной научно-практической конференции, Пермь, 28–30 сентября 2020 года. – Пермь: Пермский национальный исследовательский политехнический университет, 2020. – С. 31-34.

3. Цаплин, С. В. «Теплообмен в космосе» [Электронный ресурс]/ С. В. Цаплин, С. А. Болычев, А. Е. Романов ; М-во образования и науки Рос. Федерации, Самар. нац. исслед. ун-т им. С. П. Королева, Ин-т ракетно-косм. техники, Ин-т информатики, математики и электроник. - Самаpа : Изд-во Самар. ун-та, 2018. - on-line. - ISBN = 978-5-7883-1254-5.

4. Патент на изобретение № 2564056 С1 Российская Федерация, МПК B64G 7/00. Способ тепловакуумных испытаний космического аппарата: № 2014121836.11: заявл.30.05.2014 : опубл. 27.09.2015 / М.И. Гришко, А.С. Смирнов, В.М. Пожалов, М.С. Митрофанов; заявитель Акционерное общество "Военнопромышленная корпорация "Научно- производственное объединение машиностроения".

5. Особенности процесса создания трехмерной модели конструкции космического аппарата дистанционного зондирования / Журнал «САПР и графика» [Электронный ресурс] – URL: http://www.sapr.ru/article.aspx?id=22132&iid=1013, режим доступа - свободный.

6. Афанасьев, А.Н. «Автоматизация структурно-параметрического анализа проектных решений и обучения проектировщика изделий машиностроения средствами САПР КОМПАС «/ А.Н. Афанасьев, С.И. Бригаднов // Автоматизация и моделирование в проектировании и управлении . — 2018. — № 2. — С. 26-33. — ISSN 2658-6436. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/journal/issue/311266 (дата обращения: 28.06.2021). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

7. Кравченко, А.М. «Твердотельное 3d моделирование в задачах инженерного проектирования» / А.М. Кравченко // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. — 2014. — № 2(22). — С. 26-29. — ISSN 2077-2084. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/journal/issue/291659 (дата обращения: 28.06.2021). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

8. Фланцы вакуумные [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://avacuum.ru/rus/armature/flanges/ (дата обращения 28.06.2021)

9. Спецификация конструкции CubeSat [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://dernasherbrezon.com/posts/cubespec (дата обращения 28.06.2021)

10. Экспериментальные методы физики твердого тела / Д. В. Фомин. – М.|Берлин : Директ-Медиа, 2014. – 186 с. – ISBN 9785447528294.