

УДК 520.607

АДАПТЕР ПОЛЕЗНОЙ НАГРУЗКИ¹

Шпынкова Виктория Дмитриевна,

студентка 4 курса, кафедры ИУ1,
МГТУ им. Н. Э. Баумана, РФ, г. Москва,
shpynkova.viktoria@mail.ru

Аннотация

Адаптер полезной нагрузки (ПН) космического аппарата представляет собой ключевой элемент, обеспечивающий надежное крепление и интеграцию различных научных и экспериментальных приборов, а также спутниковых систем на борту космических транспортных средств. В данной работе рассматриваются основные функции адаптера, его конструктивные особенности, а также материалы и методы расчета, используемые для обеспечения устойчивости и безопасности во время запуска и эксплуатации в условиях космоса.

Ключевые слова: адаптер полезной нагрузки, ракета-носитель, полезная нагрузка.

SPACECRAFT PAYLOAD ADAPTER

Shpynkova Victoria Dmitrievna,

4th year student, Department of IU1,
Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia
shpynkova.viktoria@mail.ru

ABSTRACT

The spacecraft payload adapter is a key element that ensures reliable attachment and integration of various scientific and experimental instruments, as well as satellite systems on board space vehicles. This paper discusses the main functions of the adapter, its design features, as well as materials and calculation methods used to ensure stability and safety during launch and operation in space.

¹ Научный руководитель: **Деменев Дмитрий Андреевич**, Заместитель декана факультета ИУ (Информатика и системы управления) МГТУ им. Н. Э. Баумана, заместитель декана факультета РКТ (Ракетно-космическая техника) МГТУ им. Н. Э. Баумана, старший преподаватель кафедр ФН-7 (Электротехника и промышленная электроника), ИУ-1 (Системы автоматического управления), Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет), г. Москва, demenev@bmstu.ru

Scientific supervisor: **Demenev Dmitry Andreevich**, Deputy Dean of the Faculty of Computer Science and Control Systems at Bauman Moscow State Technical University, Deputy Dean of the Faculty of Rocket and Space Technology at Bauman Moscow State Technical University, Senior Lecturer at Departments FN-7 (Electrical Engineering and Industrial Electronics), IU-1 (Automatic Control Systems), Moscow State University Bauman Technical University (National Research University), Moscow, demenev@bmstu.ru

Keywords: payload adapter, launch vehicle, payload.

Введение. Форма и габариты космических аппаратов (КА) варьируются и часто не соответствуют параметрам ракеты-носителя (РН), что затрудняет их прямую установку. Для интеграции КА с конкретной РН существует два подхода: либо проектирование КА с учетом особенностей РН, либо создание специальной переходной конструкции, обеспечивающей сопряжение между КА и РН. Эта переходная конструкция, выполняющая функцию механического соединения, носит название адаптера. Адаптер – это техническое устройство, обеспечивающее конструктивную и функциональную связь между космическим аппаратом с ракетой-носителем или разгонным блоком. [1] Данный адаптер полезной нагрузки служит для удержания на одном ракетоносителе одной полезной нагрузки или одной опорной платформы для размещения нескольких полезных нагрузок. Сложность процесса соединения и фиксации полезной нагрузки требует высокой точности и надёжности исполнения. Важно учесть потенциальные риски, связанные с возможными вибрациями, ускорениями и температурными изменениями во время старта ракеты и работы в открытом космосе.

Конструкция. Адаптер в виде конической или цилиндрической формы представляет собой ферму и относится к ферменным конструкциям. Ферменные конструкции используются в качестве переходных отсеков, соединяющих различные ступени, основы теплонагруженного агрегата, несущей основы для различных приборов, узлов и конструкций, а также каркасов антенн или панелей солнечных батарей. Фермы представляют собой пространственные конструкции, состоящие из прямолинейных стержней, связанных в узлах сварными, болтовыми и клепанными соединениями. В узлах предусматриваются крепежные элементы, обеспечивающие между отсеками неразъемные или разъемные в полете соединения и передачу нагрузок. [2]

Проектирование фермы заключается в выборе конструктивно-силовой схемы, материалов и геометрических размеров элементов конструкции (стержней, фитингов и т.д.).

Ферма представляет собой стержневую конструкцию, состоящую из труб (АМг6), фитингов (1570С) и крепежных элементов. Фитинги фермы обеспечивают не только жёсткую механическую связь стержней между собой, но и передачу нагрузок с одного отсека фермы и наоборот (со стержней на узлы стыковки другого отсека).

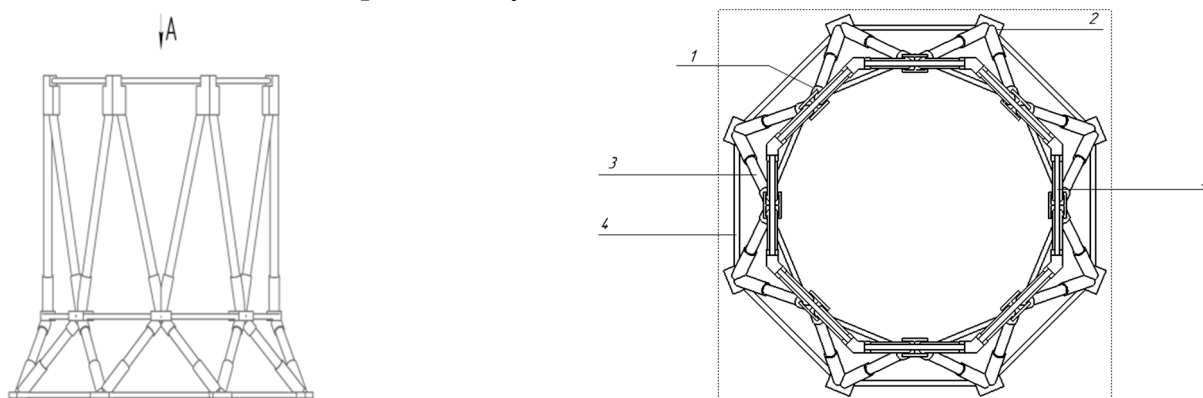


Рисунок 1. Адаптер полезной нагрузки космического аппарата.

1 – Фитинг верхний; 2 – Фитинг нижний; 3 – Стержень; 4 – Шпангоут нижний; 5 – Шпангоут верхний.

Источник: разработано автором

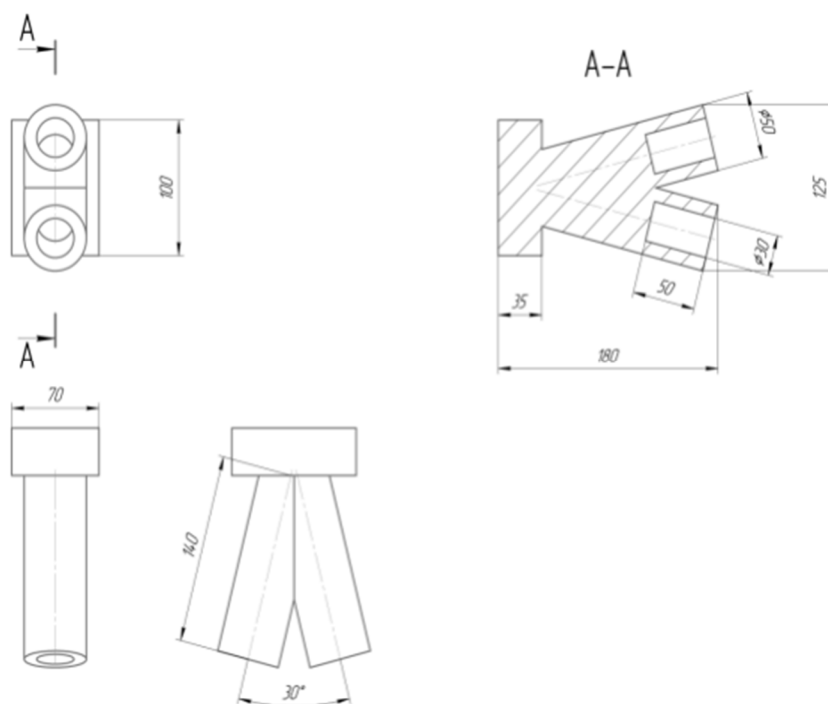


Рисунок 2. Крепёж фермы.

Источник: разработано автором

Материалы и методы расчета. Адаптер испытывает большие нагрузки – воздействие осевых, продольных и поперечных сил. Исходя из этого, материал адаптера должен быть прочным, одновременно с этим он должен быть лёгким и относительно не дорогим. Поэтому выбирается алюминиево-магниевый сплав АМг6, а для фитингов выбирается алюминиевый сплав 1570С.

АМг6 – это магналий высокой пластичности, но средней прочности. Он обладает хорошей коррозионной стойкостью, хорошей обрабатываемостью резаньем и давлением. Однако, в ряду прочих широко известных магналиев этот сплав занимает первое место по прочности и твёрдости, но последнее место по коррозионной стойкости и последнее место по пластическим свойствам. Хотя он хорошо сваривается, но сварной шов АМг6 более пористый чем у того же АМг3 и часто требует дополнительной обработки. Это один из самых лёгких сплавов алюминия с плотностью 2,64 г/см³.

1570С – это алюминиевый сплав высокой пластичности, обладает достаточно высоким уровнем прочности. Он обладает хорошей коррозионной стойкостью, хорошей обрабатываемостью резаньем. Плотность данного сплава 2,65 г/см³. [6]

Расчёт на прочность и устойчивость адаптера полезной нагрузки. Исходные данные для расчёта: материал АМг6, модуль упругости материала стержня: $E_t = 6,958 \cdot 10^{10}$ Па, предел пропорциональности материала стержня: $\sigma_{pt} = 1,29 \cdot 10^8$ Па, предел текучести материала стержня: $\sigma_{Tt} = 2,45 \cdot 10^8$ Па, осевая сила: $U_{oc} = 10 \cdot 10^5$ Н, изгибающий момент: $M = 6 \cdot 10^5$ Н·м, коэффициент безопасности: $f = 2$, диаметр нижнего основания: $D_n = 1500$ мм, диаметр верхнего основания: $D_v = 1200$ мм, высота фермы: $H = 1230$ мм, количество стержней: 16.

Эквивалентная осевая нагрузка:

$$U_{экв} = f \cdot U_{oc} + f \cdot 4 \cdot \frac{M}{D_n} = 2 \cdot 10 \cdot 10^5 + 2 \cdot 4 \cdot \frac{6 \cdot 10^5}{1,5} = 52 \cdot 10^5 \text{ Н};$$

В первом приближении условно считаем, что нагрузка распределяется равномерно между стержнями. Нагрузка на один стержень симметричной конической фермы:

$$U_1 = \frac{U_{экв}}{n \cdot \cos \alpha \cdot \cos \beta},$$

n – количество стержней фермы; 2α – угол между стержнями; 2β – угол конусности фермы.

Угол между стержнями:

$$\alpha = \arctg\left(\frac{\pi \cdot D_H}{n \cdot H}\right) = \arctg\left(\frac{3,14 \cdot 1,5}{16 \cdot 1,23}\right) = 0,610 \text{ рад}; \cos\alpha = 0,819;$$

Угол конусности фермы:

$$2\beta = \arctg\left(\frac{D_H - D_B}{H}\right) = \arctg\left(\frac{1,5 - 1,2}{1,23}\right) = 0,239; \cos\beta = 0,97$$

Нагрузка, действующая на один стержень:

$$U_1 = \frac{52 \cdot 10^5}{16 \cdot 0,819 \cdot 0,97} = 4 \cdot 10^5 \text{ Н};$$

Длина стержней определяется:

$$l_{ст} = \frac{H}{\cos\alpha \cos\beta} = \frac{1,23}{0,819 \cdot 0,97} = 1,14 \text{ м};$$

Выбираем площадь поперечного сечения стержня $F_{ст}$ и радиус инерции сечения стержня i (по табличным данным).

Гибкость стержня:

$$\lambda = \frac{l_{ст}}{i} = \frac{1,14}{0,018} = 63,375;$$

Критическая гибкость стержня:

$$\lambda_{кр} = \pi \cdot \sqrt{\frac{c \cdot E_t}{\sigma_{pt}}} = 3,14 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 6,958 \cdot 10^{10}}{1,29 \cdot 10^8}} = 103,18;$$

c – коэффициент заделки стержня (если узлы сварные $c=2$);

$\lambda \leq \lambda_{кр}$, поэтому критические напряжения сжатия определяют по формуле

Тетмайера:

$$\sigma_{кр} = \sigma_{Tt} - (\sigma_{Tt} - \sigma_{pt}) \cdot \frac{\lambda}{\lambda_{кр}} = 2,45 \cdot 10^8 - (2,45 \cdot 10^8 - 1,29 \cdot 10^8) \cdot \frac{63,375}{103,18} = 1,73 \cdot 10^8 \text{ Па};$$

Действующие напряжения в стержне:

$$\sigma_{д} = \frac{U_1}{F_{ст}} = \frac{4 \cdot 10^5}{0,0037} = 1,103 \cdot 10^8 \text{ Па};$$

Коэффициент запаса устойчивости стержня:

$$\eta_y = \frac{\sigma_{кр}}{\sigma_{д}} = \frac{1,73 \cdot 10^8}{1,103 \cdot 10^8} = 1,56 > 1;$$

Адаптер удовлетворяет условиям прочности (устойчивости). [5]

Заключение. С точки зрения системного подхода, адаптер полезной нагрузки является связующим звеном, которое определяет успех всего проекта запуска. Данный адаптер полезной нагрузки служит для удержания на одном ракета-носителе одной полезной нагрузки или одной опорной платформы для размещения нескольких полезных нагрузок. Выполнен обзор конструкции и составных частей. Были выбраны параметры для будущего адаптера полезной нагрузки, проанализированы возможные материалы, материалом для фитингов будет сплав 1570С, а для самой конструкции сплав АМг6. Учитывая предстоящие нагрузки на конструкцию, был произведён расчёт на прочность и устойчивость. В настоящее время адаптер полезной нагрузки активно применяется в ракетах-носителях, например, в "Союзе-2". В будущем его роль возрастет, поскольку он будет необходим для обеспечения запусков в рамках проекта российской орбитальной станции.

Список литературы:

1. ГОСТ Р 53802-2010. Системы и комплексы космические. Термины и определения : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 31 марта 2010 г. № 28-ст : дата введения 2011-01-01. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200081971> (дата обращения: 15.09.2025). – Текст: электронный.

2. Адаптеры полезной нагрузки и системы отделения для «Союзов». – URL: <https://www.roscosmos.ru/28180/> (дата обращения: 15.09.2025). – Текст: электронный.
3. Обзор конструкций адаптеров современных космических аппаратов. – URL: <http://journal-niss.ru/journal/archive/25/paper3.pdf> (дата обращения: 15.09.2025). – Текст: электронный.
4. Галиновский, А. Л. Технологии производства и диагностики композитных конструкций летательных аппаратов : учебное пособие / А. Л. Галиновский, С. В. Бочкарев, В. А. Нелюб. – Москва, 2021. – 384 с.
5. Азаров, А. В. Расчёт и проектирование сетчатых композитных конструкций : учебное пособие / А. В. Азаров, А. Ф. Разин. – Москва, 2024. – 180 с.
6. Колмаков, А. Г. Материаловедение и технология применения перспективных конструкционных материалов : учебное пособие / А. Г. Колмаков, Ю. А. Курганова, С. Ю. Шевченко. – Москва, 2022. – 167 с.

References:

1. GOST R 53802-2010. Space systems and complexes. Terms and definitions: approved and put into effect by Order of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology dated March 31, 2010, No. 28-st: date of introduction 2011-01-01. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200081971> (date of access: 09/15/2025). – Text: electronic.
2. Payload adapters and separation systems for Soyuz. – URL: <https://www.roscosmos.ru/28180/> (date of access: 09/15/2025). – Text: electronic.
3. Review of adapter designs for modern spacecraft. – URL: <http://journal-niss.ru/journal/archive/25/paper3.pdf> (date accessed: 15.09.2025). – Text: electronic.
4. Galinovsky, A. L. Technologies of production and diagnostics of composite structures of aircraft: a tutorial / A. L. Galinovsky, S. V. Bochkarev, V. A. Nelyub. – Moscow, 2021. – 384 p.
5. Azarov, A. V. Calculation and design of mesh composite structures: a tutorial / A. V. Azarov, A. F. Razin. – Moscow, 2024. – 180 p.
6. Kolmakov, A. G. Materials science and technology of application of advanced structural materials: a tutorial / A. G. Kolmakov, Yu. A. Kurganova, S. Yu. Shevchenko. – Moscow, 2022. – 167 p.