



Столыпинский
вестник

Научная статья
Original article
УДК 539.3

**АНАЛИЗ ЗАВИСИМОСТИ ПРОЧНОСТИ И УСТОЙЧИВОСТИ
АНИЗОГРИДНОЙ КОНСТРУКЦИИ ОТ УГЛА СХОЖДЕНИЯ
СПИРАЛЬНЫХ РЕБЕР**

**ANALYSIS OF THE DEPENDENCE OF THE STRENGTH AND
STABILITY OF AN ANISOTROPIC STRUCTURE ON THE ANGLE OF
CONVERGENCE OF SPIRAL RIBS**

Вершинин Денис Сергеевич, студент, Сибирский государственный университет науки и технологий, Россия, г. Красноярск

Марченко Светлана Валерьевна, студент, Сибирский государственный университет науки и технологий, Россия, г. Красноярск

Щеглов Владимир Константинович, студент, Сибирский государственный университет науки и технологий, Россия, г. Красноярск

Vershinin Denis Sergeevich, e-mail: deniskin333@mail.ru

Marchenko Svetlana Valeryevna, e-mail: achi.trunaki@gmail.com

Shcheglov Vladimir Konstantinovich, e-mail: vladimir-scheglov@mail.ru

Аннотация

В статье рассматривается влияние изменения параметра анизогридной конструкции (угла схождения спиральных ребер) на показатели устойчивости и прочности конструкции. Оцениваются условия работы анизогридной

конструкции в качестве адаптера космического аппарата, изучаются возникающие при этом источники вибрации и их влияние на конструкцию. Проводится построение модели работы конструкции, приближенное к реальным условиям эксплуатации. Проводится численный эксперимент по решению двух оптимизационных задач. Оцениваются возможности применения полученных корреляций. Оценивается повышение эксплуатационных характеристик при применении найденных зависимостей.

Annotation

The article considers the effect of changing the parameter of an anisogrid structure (the angle of convergence of spiral edges) on the indicators of stability and strength of the structure. The working conditions of the anisogrid structure as an adapter of the spacecraft are evaluated, the sources of vibration arising in this case and their influence on the structure are studied. The construction of a model of the work of the structure is carried out, which is close to real operating conditions. A numerical experiment is carried out to solve two optimization problems. The possibilities of applying the obtained correlations are evaluated. The increase in operational characteristics is estimated when using the found dependencies.

Ключевые слова: анизогридная конструкция, частотный анализ, метод конечных элементов, адаптер космического аппарата

Keywords: anisogrid design, frequency analysis, finite element method, spacecraft adapter

Сетчатые анизогридные композиционные оболочки, выступающие составными элементами агрегатов космических летательных аппаратов, относятся к силовым конструкциям, набор структурных элементов которых должен обеспечивать прочность и жесткость оболочки под действующими нагрузками. Отличительной особенностью данных конструкций является система пересекающихся спиральных и кольцевых ребер. Оболочка может иметь обшивку, вымотка которой согласно технологии производства композитов осуществляется одновременно с реберной структурой, в

результате которой ребра и обшивка представляют единую монолитную конструкцию.

Использование сетчатых анизотридных конструкций в ракетно-космической технике обусловлено высокими удельными прочностными характеристиками, малым весом, малым коэффициентом температурных деформаций, высокой коррозионной стойкостью, а также низкой электрической проводимостью

Чаще всего анизотридные сетчатые конструкции используют в качестве адаптера между ступенью разгона и космическим аппаратом, либо в качестве ферменной конструкции, на которую крепится приборный отсек или приемно-передающие устройства системы связи и телеметрии.

Во время полета ракеты на нее воздействуют интенсивные вибрационные нагрузки, характеризующиеся высокой перегрузкой и широким диапазоном частот (0 — 2000 Гц) [3]. Воздействие вибраций начинается еще во время предполетной подготовки. На этом этапе вибрации возникают во время транспортировки ракеты и погрузки ее на стартовую установку. Во время полета основным источником вибраций служит маршевый двигатель. Кроме него следует учитывать вибрационное воздействие со стороны атмосферных явлений, органов управления полетом, колебаниями топлива в баках, а также колебания самого корпуса ракеты, который деформируется во время изменения вектора скорости. Крайне опасно явления резонанса. Оно может привести к скачкообразному увеличению амплитуды колебаний и последующему разрушению ракеты. Для исключения возникновения явления резонанса необходимо знать собственные частоты ракетной системы в целом и отдельных частей в частности.

Кроме вибрационных нагрузок, адаптер испытывает сильные сжимающие усилия. Они возникают во время разгона ракеты-носителя. В меньшей степени действуют растягивающие и сдвиговые усилия. Их появление обусловлено маневрированием ракеты-носителя при движении по траектории полета.

Целью этой работы является выявление и анализ корреляции прочности и собственных частот анизогридной конструкции с углом схождения спиральных ребер [4]. Это поможет упростить и ускорить этап проектирования ракетной системы, повысит точность создаваемых моделей, улучшит предсказуемость полета ракеты-носителя и надежность ракетной системы в целом, а также повысит коэффициент выводимого полезного груза и эффективность использования материала.

Для исследования в CAD системе SolidWorks была создана модель цилиндрической анизогридной конструкции со следующими размерами: высота — 1000 мм, диаметр основания — 1000 мм, толщина ребер — 5 мм, количество спиральных ребер — 25, количество поперечных ребер — 9 (Рис. 1).

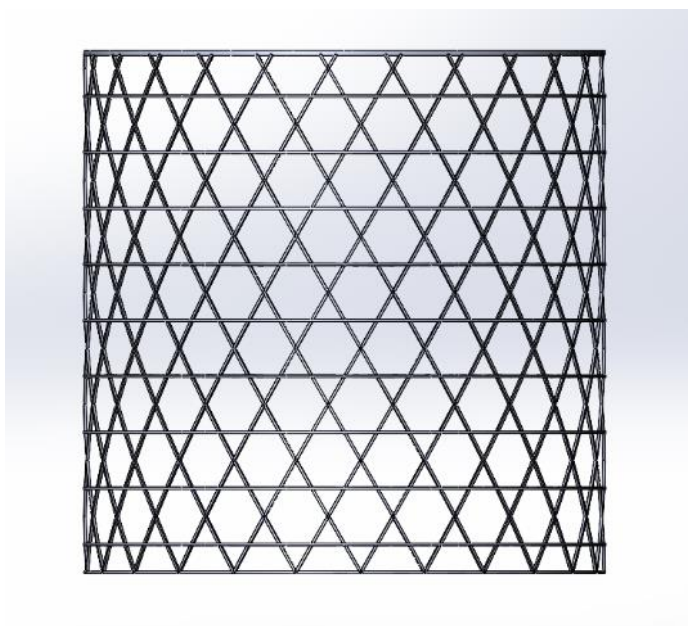


Рис. 1 Модель сетчатой конструкции.

Материалом для цилиндра был выбран композитный материал на основе углепластика М46JB [5]. Этот материал используют в производстве адаптеров реальных ракет в России и других странах.

Характеристики представлены в табл. 1

Таблица 1.

Характеристики композитного материала на основе углепластика
M46JB

Предел прочности при растяжении вдоль волокон, МПа	2190
Модуль упругости при растяжении вдоль волокон, ГПа	267
Массовая плотность, г/см ³	1,84

Для понимания поведения адаптера космического аппарата во время полета в конечно-элементном пакете SolidWorks Simulation была поставлены и решены две оптимизационные задачи.

В задаче оптимизации устойчивости нижняя и верхняя грани были жестко зафиксированы (приближено к реальным граничным условиям адаптера). Варьировалась величина угла схождения спиральных ребер ϕ пределах от 35° до 95°. Целью являлось минимизация первой собственной частоты конструкции.

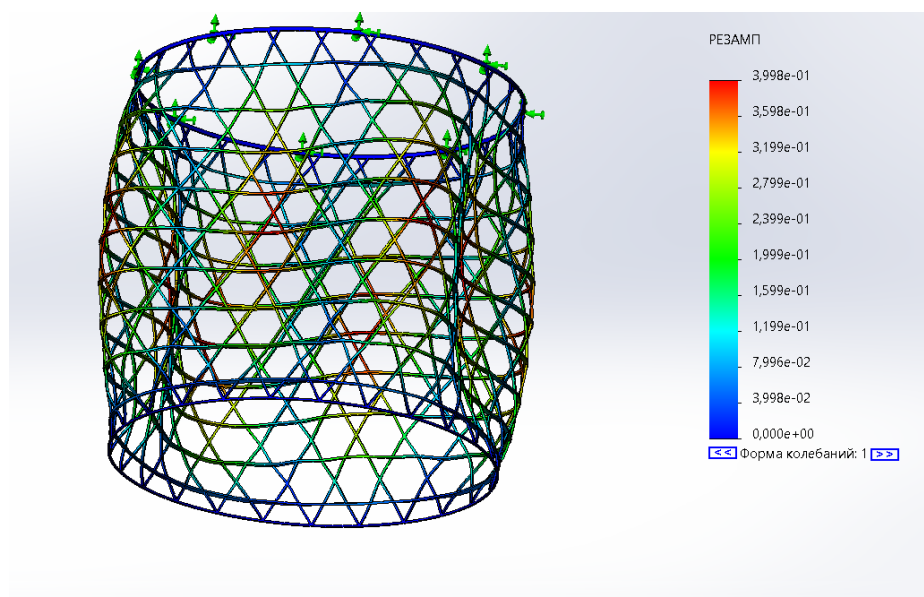


Рис. 2 Первая форма колебаний конструкции.

Полученная зависимость представлена на графике (Рис. 3).

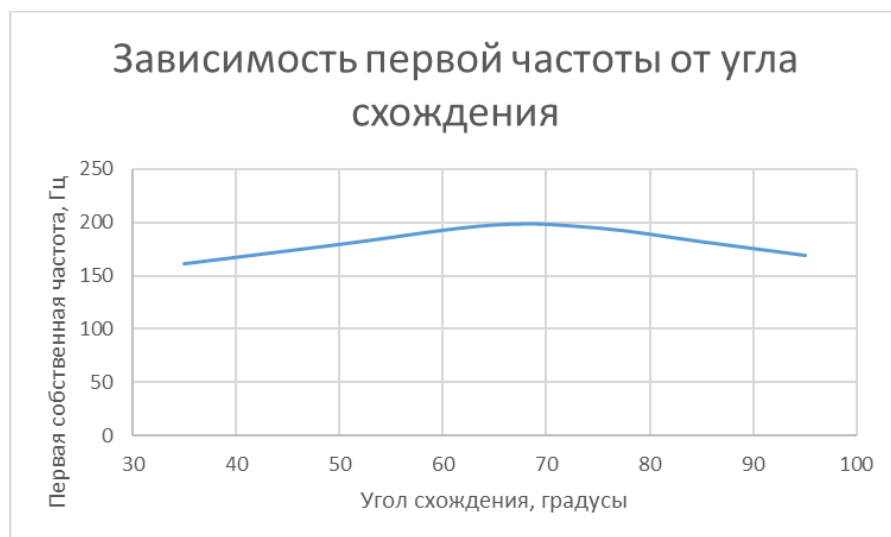


Рис. 3 Результаты решения оптимизационной задачи устойчивости.

Как видно, существует выраженный экстремум зависимости. На практике, существенное значение имеют первые три собственные частоты конструкции. Но для понимания возникающих зависимостей пока ограничимся анализом только первой, имеющей наибольшее влияние.

В задаче оптимизации прочности нижний обод цилиндра был жестко зафиксирован, к верхнему было приложено сжимающее давление величиной 1000 Па. Целью оптимизации было поставлено уменьшение возникающих внутренних напряжений. Варьировалась величина угла схождения спиральных ребер φ пределах от 35° до 95° . Полученные результаты показаны на графике (Рис. 4).



Рис. 4 Результаты решения оптимизационной задачи.

На графике зависимости также виден ярко выраженный экстремум. При увеличении угла схождения свыше 65° наблюдается резкое повышение запаса прочности конструкции. Для выявления причин этого эффекта необходимы дальнейшие исследования. Из графической зависимости видно, что оптимальное значение угла схождения равняется примерно 75° . При таком угле в конструкции возникают напряжения, равные 36704 Па, что составляет 58% от максимального напряжения в этой задаче.

Анализ и использование полученных корреляций позволяет повысить точность проектирования ракетной системы, ее надежность и предсказуемость.

Для более детального и точного понимания поведения конструкции под нагрузками, возникающими во время полета ракеты-носителя необходимы дальнейшие исследования.

Литература

1. Хахленкова Анна Александровна, Лопатин Александр Витальевич /Обзор конструкций адаптеров современных космических аппаратов // Космические аппараты и технологии. 2018. №3 (25).
2. Анизогридные композитные сетчатые конструкции - разработка и приложение к космической технике / В. В. Васильев, В. А. Барынин, А. Ф. Разин [и др.] // Композиты и наноструктуры. – 2009. – № 3(3). – С. 38-50.
3. Дьяченко М.И., Павлов А.М., Темнов А.Н. Продольные упругие колебания корпуса многоступенчатой жидкостной ракеты пакетной схемы // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение. 2015. №5 (104).
4. Бурнышева Татьяна Витальевна, Штейнбрехер Ольга Александровна Параметрическая оптимизация анизогридных оболочек нерегулярной структуры // Инженерный журнал: наука и инновации. 2019. №8 (92).

5. Батаев А. А., Батаев В. А. Композиционные материалы: строение, получение, применение: Учебник. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2002. – 384 с.

Literature

1. Khakhlenkova Anna Aleksandrovna, Lopatin Alexander Vitalievich/ Review of adapter designs of modern spacecraft // Space vehicles and technologies. 2018. №3 (25).
2. Anisogrid composite mesh structures - development and application to space technology / V. V. Vasiliev, V. A. Barynin, A. F. Razin [et al.] // Composites and nanostructures. – 2009. – № 3(3). – Pp. 38-50.
3. Dyachenko M.I., Pavlov A.M., Temnov A.N. /Longitudinal elastic vibrations of the body of a multistage liquid rocket of a batch scheme // Bulletin of the Bauman Moscow State Technical University. Ser. Mechanical Engineering. 2015. №5 (104).
4. Burnysheva Tatiana Vitalievna, Steinbrecher Olga Alexandrovna /Parametric optimization of anisogrid shells of irregular structure // Engineering Journal: Science and Innovation. 2019. No.8 (92).
5. Bataev A. A., Bataev V. A. /Composite materials: structure, receipt, application: Textbook. – Novosibirsk: NSTU Publishing House, 2002. – 384 p.

© Вершинин Д.С., Марченко С.В., Щеглов В.К., 2022 Научный сетевой журнал «Столыпинский вестник» №6/2022

Для цитирования: Вершинин Д.С., Марченко С.В., Щеглов В.К. АНАЛИЗ ЗАВИСИМОСТИ ПРОЧНОСТИ И УСТОЙЧИВОСТИ АНИЗОГРИДНОЙ КОНСТРУКЦИИ ОТ УГЛА СХОЖДЕНИЯ СПИРАЛЬНЫХ РЕБЕР// Научный сетевой журнал «Столыпинский вестник» №6/2022