

УДК 539.3

## ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РЕБЕРНОЙ СТРУКТУРЫ СЕТЧАТОГО АДАПТЕРА НА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ

Гульков Т. В., студент гр. ПСМ-31, II курс магистратуры  
Ковальчук Л. М., аспирант 2-го года обучения, ассистент кафедры  
«Прочности летательных аппаратов»

Научный руководитель: Бурнышева Т. В., д.т.н., доцент  
Новосибирский государственный технический университет, г. Новосибирск

### 1. Введение

Композитные сетчатые адаптеры, состоящие из пересекающихся спиральных и кольцевых ребер, подкрепленных по нижнему и верхнему основаниям шпангоутами, используются в ракетно-космической технике. Их главной задачей является стыковка запускаемого аппарата с ракетой-носителем. Преимуществами использования данного типа конструкций является высокие прочностные и жесткостные характеристики при минимальной массе [1].

### 2. Постановка задачи

В исследовании рассматривается задача расчета напряженно-деформированного состояния (НДС) сетчатого адаптера при изменении геометрических параметров реберной структуры. Конструкция исходного адаптера изготовлена из углепластика М46J, механические свойства которого представлены в таблице 1. Геометрические параметры представлены в таблице 2.

Таблица 1

#### Механические свойства материала

Модуль Юнга, Па	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Коэффициент Пуассона
1.8E11	1650	0.19

Таблица 2

#### Геометрические параметры исходной конструкции

D1, м	D2, м	H, м
1.177	2.490	0.650

### 3. Моделирование конечно – элементной модели сетчатого адаптера

Построение параметрической модели проводилось в программном комплексе ANSYS. При моделировании семейств ребер в конструкции сетчатого адаптера использовались балочные элементы BEAM4 с шестью степенями свободы в каждом узле [2]. Нижний шпангоут зафиксирован по всем степеням свободы. К центральному узлу, соединенному с узлами

верхнего шпангоута, приложена осевая сжимающая сила равная 108 тс. (рис.1, б). Масса исходного сетчатого адаптера составила 50 кг.

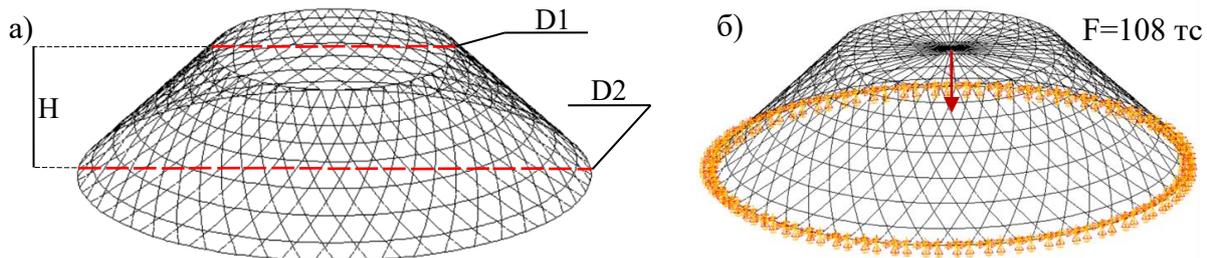


Рис. 1 – Исходный сетчатый адаптер

а) геометрические параметры; б) примененная нагрузка и закрепление

#### 4. Расчет напряженно-деформированного состояния исходной конструкции

Проводился расчет напряженно-деформированного состояния сетчатого адаптера от осевой сжимающей силы. На рис. 2 представлены поля напряжений и перемещений в конструкции.

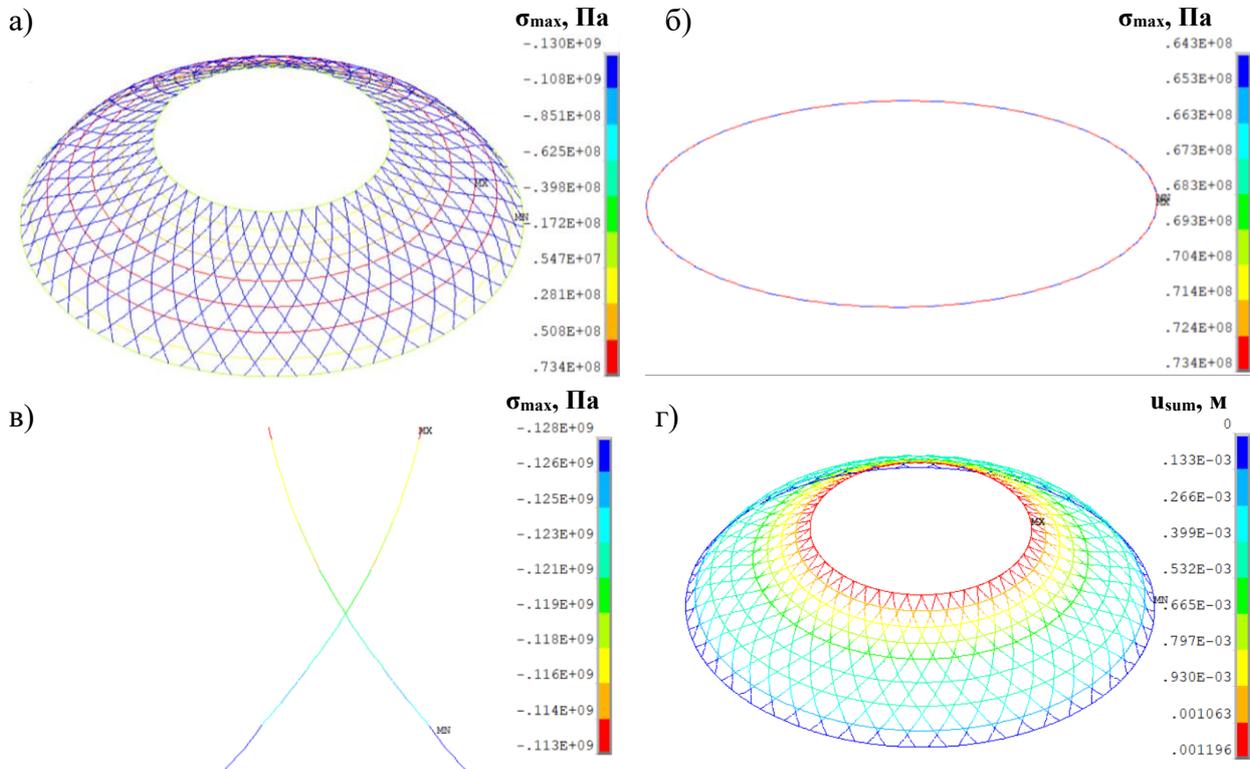


Рис. 2 – Поля напряжений и перемещений исходного сетчатого адаптера

а) максимальные напряжения; б) напряжения в кольцевом ребре;  
в) напряжения в паре спиральных ребер; г) суммарное перемещение

Анализ НДС показал, что спиральные ребра при осевом сжатии работают на сжатие, а кольцевые на растяжение [3]. Абсолютные значения максимальных напряжений на сжатие в сетчатом адаптере составили 128 МПа в спиральных ребрах, а на растяжение 73.4 МПа в кольцевых. Максимальное суммарное перемещение сетчатого адаптера составило 1.2 мм.

## 5. Многофакторный вычислительный эксперимент

В качестве варьируемых параметров были взяты диапазоны значений высот кольцевых и спиральных ребер от 6 до 12 мм с шагом 2 мм, а также диапазон значений толщины реберной структуры от 17 до 23 мм с шагом 2 мм. На рис.3 показана схема трехфакторного вычислительного эксперимента, где каждой точке соответствует модель с определенными значениями варьируемых параметров [4]. Получены 64 модели с различной геометрией реберной структуры.

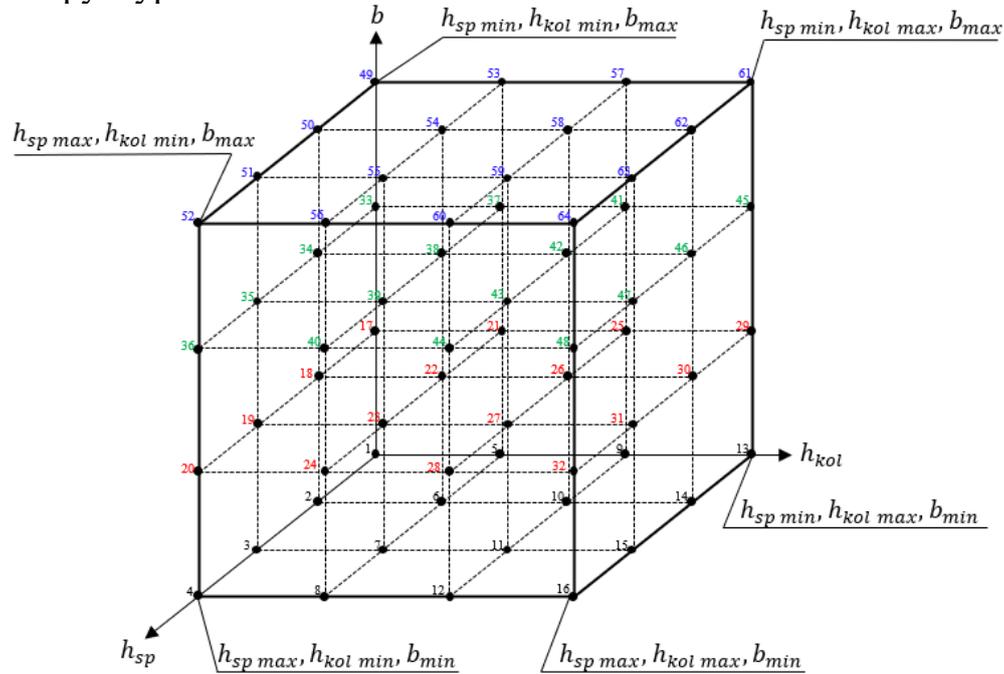


Рис. 3 – План - схема многофакторного вычислительного эксперимента

Для каждой из 64 моделей вычислялась масса конструкции. На рис. 4 представлена диаграмма изменения масс при варьировании параметров, где по оси абсцисс отложены номера моделей, а по оси ординат масса в килограммах.

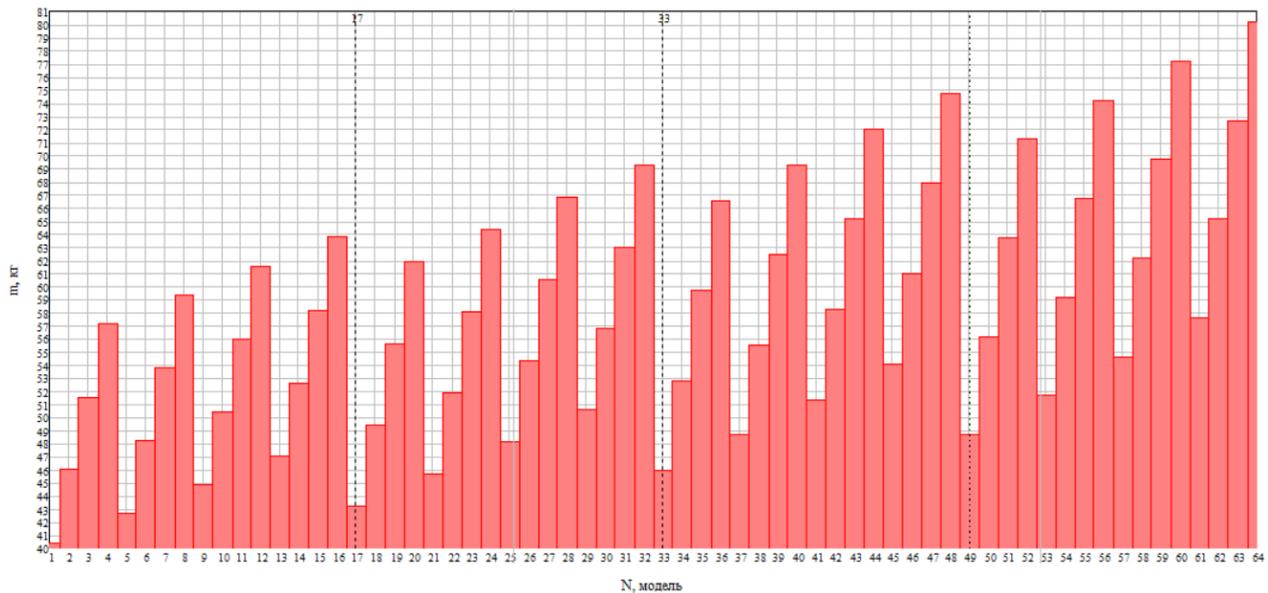


Рис. 4 – Гистограмма изменения масс конструкций при варьировании параметров

Анализ рис.4 позволяет выделить четыре конструкции с наименьшей массой. Наибольший вклад в массу конструкции вносит увеличение высоты спиральных ребер.

## 6. Поверхности продольных максимальных напряжений вычислительного эксперимента

Для каждой из моделей рассматривалось напряженно-деформированное состояние, и определялись абсолютные максимальные напряжения в кольцевых и спиральных ребрах. На рис. 5 представлены поверхности максимальных продольных напряжений в спиральных ребрах с различной толщиной реберной структуры при варьировании значений высот.

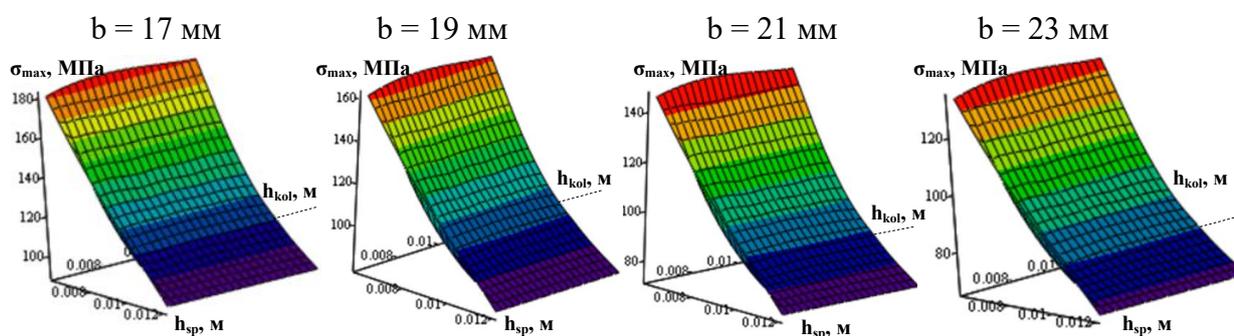


Рис. 5 – Поверхности продольных абсолютных максимальных напряжений в спиральных ребрах ( $b$  – толщина реберной структуры)

На рис. 6 представлены поверхности максимальных продольных напряжений в кольцевых ребрах с различной толщиной реберной структуры при варьировании высот ребер.

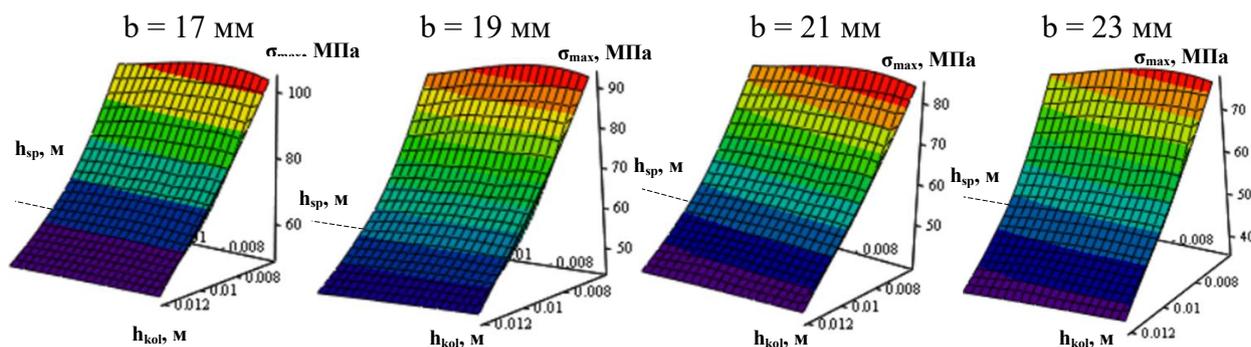


Рис. 6 – Поверхности продольных абсолютных максимальных напряжений в кольцевых ребрах ( $b$  – толщина реберной структуры)

## 7. Выводы

В ходе проведения исследования построена конечно-элементная модель исходного сетчатого адаптера в конечно-элементном комплексе ANSYS.

Анализ напряженно-деформированного состояния показал, что при осевом сжатии конструкции спиральные ребра работают на сжатие, а кольцевые на растяжение. При осевом сжатии в 108 тс. абсолютные значения

максимальных сжимающих напряжений в элементах адаптера составили 128 МПа, а значения растягивающих напряжений – 73.4 МПа. Суммарные перемещения в адаптере составили 1.2 мм.

Проведен многофакторный вычислительный эксперимент, в котором изменялись значения высот спиральных и кольцевых ребер, а также значения толщины реберной структуры. Для каждой модели вычислялась масса. С наименьшей массой выделили четыре конструкции. Диапазон масс конструкций составил от 40.434 кг до 80.225 кг. Наибольший вклад в массу конструкции вносит увеличение высоты спиральных ребер.

Анализ поверхностей абсолютных значений максимальных продольных напряжений в ребрах адаптера при изменении высот ребер показал, что максимальные напряжения наблюдаются при минимальном значении высоты ребра. Наблюдается нелинейное изменение напряжений при увеличении высоты спиральных ребер и линейное при увеличении высоты кольцевых ребер.

#### Список литературы:

1. Васильев В. В., Разин А. Ф., Азаров А. В. Композиционные сетчатые конструкции – проектирование, расчет и изготовление. М.: Инновационное машиностроение, 2023. 488с.: ил.

2. Ковальчук Л. М. О подходах к построению параметрической дискретной модели сетчатой цилиндрической оболочки в конечно–элементном пакете ANSYS / Л. М. Ковальчук, Т. В. Бурнышева. – Текст: электронный // Краевые задачи и математическое моделирование: темат. сб. науч. ст. – Новокузнецк: Изд-во КГПИ КемГУ, 2023. – С. 52–57. – 8 CD-ROMs. – Загл. с экрана.

3. Исследование напряженно-деформированного состояния и устойчивости изогридной и сплошной конструкций при осевом сжатии / Д. Д. Козырев, Т. В. Гульков, Л. М. Ковальчук, Т. В. Бурнышева. – Текст: непосредственный // Аэродинамика, динамика полета, прочность и конструирование летательных аппаратов: сб. тез. докл. 2 Всерос. науч.-техн. конф. аспирантов, Новосибирск, 10 дек. 2024 г. – Новосибирск: Изд-во СибНИА им. С. А. Чаплыгина, 2024. – С. 30–33. – 50 экз. – ISBN 978-5-6051783-1-6.

4. Бурнышева, Т.В. Применение методологии вычислительного эксперимента в задачах проектирования и диагностики анизогридных конструкций космических летательных аппаратов. / Т.В. Бурнышева // Научно-технический вестник Поволжья. – 2014. – №6. – С. 98-102.