

УДК 539.4

ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ СЕТЧАТОЙ ОБОЛОЧКИ БЕЗ ОБШИВКИ ПРИ КРУЧЕНИИ

Ковальчук Л.М., магистрант

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

Аннотация:

Для определения надежности конструкции нужно исследовать конструкции на прочность, устойчивость и жесткость. В данной работе рассматриваются сетчатые оболочки анизотропной структуры без обшивки, нагруженные крутящим моментом равным 1 тонна сил на метр. С учетом фиксированной массы исходной модели произведен подбор параметров реберной структуры для четырех расчетных случаев при помощи цикла в математической среде *Mathcad14*. Оболочки моделируются в программном комплексе *Ansys*. Нагружение оболочки происходит через мнимый узел в центре конструкции, который связан с узлами верхнего шпангоута топологическими связями. На нижнем шпангоуте расположены сферические шарниры. Численный расчет напряженно-деформированного состояния конструкций в программном комплексе *Ansys Mechanical APDL* позволяет определить деформирование ребер сеток с учетом их классификации. Спиральные ребра с наклоном влево растягиваются, а ребра с наклоном вправо сжимаются. Кольцевые ребра имеют зоны, как растяжения, так и сжатия. Проведено исследование устойчивости и жесткости конструкций.

1. Введение

В космических аппаратах [1], как правило, сетчатые оболочки являются несущими силовыми элементами, это обусловлено сочетанием высоких прочностных характеристик конструкций при небольшой массе и возможностью ее минимизации [2]. При выходе на орбиту космический аппарат испытывает сильные осевые нагрузки. При работе на орбите изделие подвергается кручению. Поэтому необходимо просчитывать конструкцию не только на осевое сжатие, но и на кручение.

2. Постановка задачи

Сетчатая цилиндрическая оболочка нагружается моментом через мнимый узел равным 1 тс·м, находящийся в центре верхнего шпангоута. На нижнем шпангоуте расположены сферические шарниры, ограничивающие по перемещениям. На основе фиксированной массы равной 165 кг варьируются геометрические параметры реберной структуры, плотность сетки и угол наклона сетчатой цилиндрической оболочки [3]. В математической среде *Mathcad14* был разработан цикл для расчета параметров реберной структуры, в

котором входными параметрами выступали: высота конструкции (H), радиус (R), угол наклона (α) между спиральным ребром и образующей, объем (V), массу (M) и числа пар спиральных ребер (N). Примем за исходную конструкцию оболочку с 72 парами спиральных ребер и углом наклона 19° . На основе данных реберной структуры исходной конструкции рассчитаем геометрические параметры моделей с углом наклона 14° и 24° , с 30 до 100 пар спиральных ребер.

3. Построение модели в *Ansys Mechanical APDL*

Сетчатые оболочки моделировались в *Ansys Mechanical APDL* при помощи циклов [4]. Результат представлен на рис.1.

В параметрическую дискретную модель закладывались два конечных элемента. Для моделирования сетчатой структуры использовался двухузловой с шестью степенями свободы конечный элемент *Beam4*. Для моделирования топологических связей использовался элемент *MPC184* [5], который накладывает кинематические ограничения между узлами и классифицируется как ограничительный.

4. Расчет напряженно – деформированного состояния сетчатой цилиндрической оболочки

Расчет напряженно – деформированного состояния оболочек позволил определить поля продольных напряжений в ребрах конструкции при кручении (рис.1).

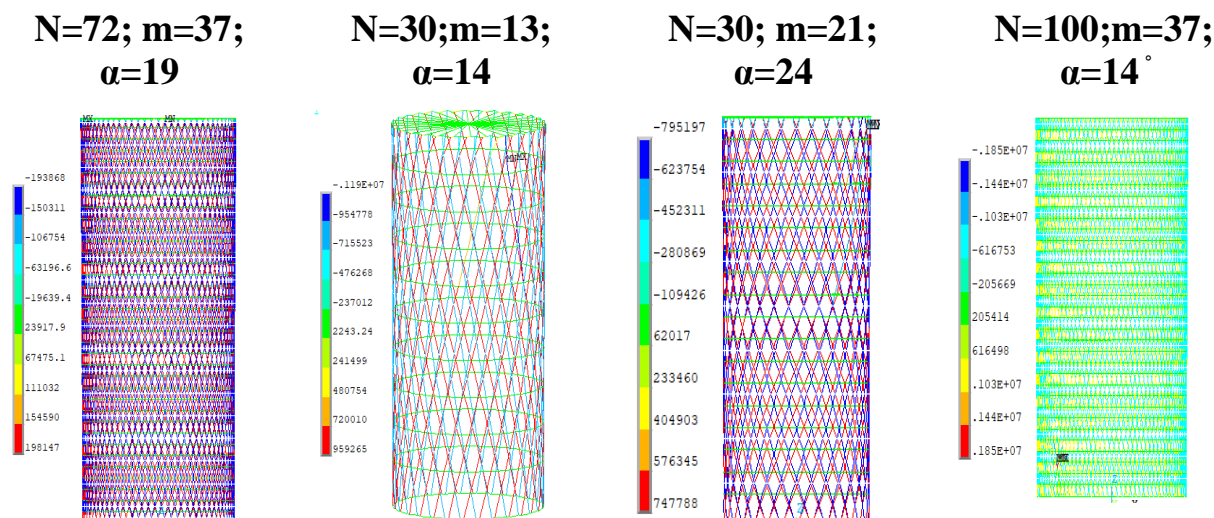


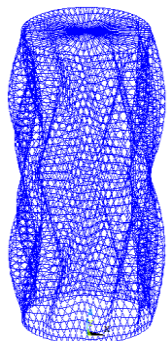
Рис.1. Напряженно – деформированное состояние сетчатых цилиндрических оболочек при кручении

При воздействии на сетчатую цилиндрическую оболочку крутящего момента спиральные ребра с наклоном влево растягиваются, а ребра с наклоном вправо сжимаются. Кольцевые ребра имеют зоны, как растяжения, так и сжатия (рис.1).

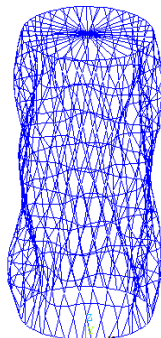
5. Расчет на устойчивость

Проводился численный расчет анизотридных конструкций на устойчивость (рис. 2).

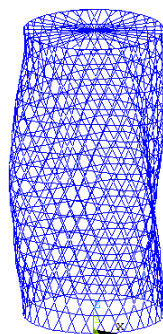
№1. N=72; m=3;
 $\alpha=19$; $M_{kr}=50.4^*$
 10^6 Н*М



№2. N=30; m=1;
 $\alpha=14$; $M_{kr}=11.5^*$
 10^6 Н*М



№3. N=30; m=21;
 $\alpha=24$; $M_{kr}=15.9^*$
 10^6 Н*М



№4. N=100; m=3;
 $\alpha=14$; $M_{kr}=5.31^*$
 10^6 Н*М

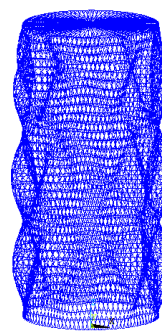


Рис.2. Формы потери устойчивости сетчатых оболочек

Анализ на устойчивость показал, что с изменением угла наклона спирального ребра к образующей и геометрических параметров ребер критическая нагрузка падает.

6. Расчет на жесткость

Жесткость сетчатой цилиндрической оболочки рассчитывается по формуле:

$$k = \frac{F}{\varepsilon},$$

где F – максимальная или минимальная критическая нагрузка; ε – деформации при приложенной нагрузке. На рис.3. приведен график максимальных и минимальных жесткостей.

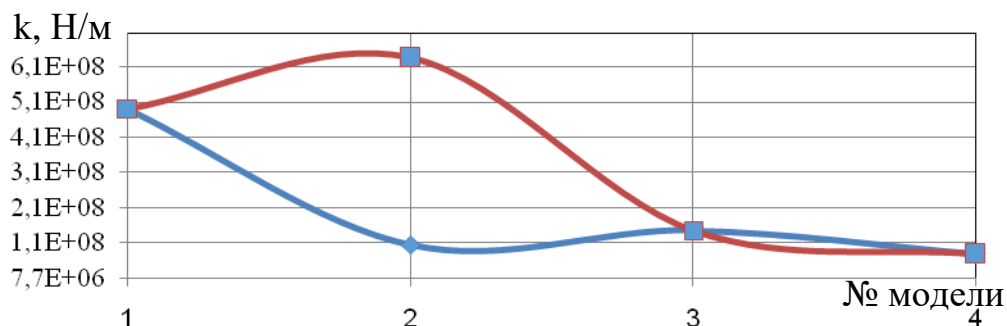


Рис.3. График распределение жесткостей в конструкциях
 1 – Максимальное значение жесткость; 2 – Минимальное значение жесткости

С Увеличением плотности реберной структуры жесткость конструкций падает. Отмечаем модель №2 с разнящимися значениями жесткостей.

Анализ напряженного деформированного состояния сетчатых оболочек при расчете на кручение в 1 т.с. на метр показывает следующее:

1. Напряжения и деформации в кольцевых ребрах распределяются ступенчато. Наблюдаются зоны как растяжения так и сжатия;

2. Спиральные ребра с наклонов влево растягиваются а с наклоном в лево сжимаются;

Максимальные продольные напряжения в ребрах изменяются с изменением угла наклона ребер:

В оболочке с 360 парами спиральных ребер с увеличением угла наклона с между ребром и образующей с 14° до 24° абсолютные значения продольных напряжений ребер увеличиваются в 5 раз; в кольцевых ребрах абсолютные значения продольных напряжений уменьшаются 2.5 раза.

Анализ оболочек на устойчивость при постоянной массе показал, что с увеличением плотности реберной структуры и ростом угла наклона ребер к образующей критическая нагрузка в целом падает.

Жесткость конструкции с изменением угла наклона ребер к образующей и увеличением плотности реберной структуры падает. Следует выделить конструкция с 30 парами спиральных ребер и углом 14° наибольшим значением жесткости.

Список литературы:

1. Соломонов Ю.С. Композитные материалы в ракетной и аэрокосмической технике / Ю.С. Соломонов, В.В. Васильев, В.П. Георгиевский // Труды Моск. ин-та теплотехники. – 2006. – Т. 8. – Ч. 1 – С. 7- 25.

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

3. Ковальчук Л. М. Методика оценки влияния плотности реберной структуры сетчатой оболочки на ее надежность / Л. М. Ковальчук. - Текст : непосредственный // Молодежь и будущее авиации и космонавтики : сб. аннотаций конкурсных работ 13 Всерос. межотраслевого молодежного конкурса науч.-техн. работ и проектов, Москва, 22–26 нояб. 2021 г. – Москва : Перо, 2021, С. 169-171. - 300 экз. - ISBN 978-5-00189-644-9.

4. Скворцов Ю. В. Использование МКЭ-пакета ANSYS для решения задач механики деформируемого твердого тела [Электронный ресурс] : интерактив. мультимед. пособие / Ю. В. Скворцов, С. В. Глушков // Минобрнауки России, Самар. гос. аэрокосм. ун-т им. С. П. Королева (нац. исслед. ун-т). - Самара, 2011.

5. Работа в САЕ-пакете ANSYS MECHANICAL: конструкционный анализ методом конечных элементов: метод. указания / сост.: А.О. Шкловец, В.С. Мелентьев. – Самара: Изд-во Самарского университета, 2018. – 76 с.: ил.