



УДК 004.94 : 629.78

А. А. Внуков

ОАО «Информационные спутниковые системы» им. акад. М.Ф. Решетнёва,
г. Железногорск, Красноярский край, Россия

АЛГОРИТМ СОЗДАНИЯ РАСЧЁТНОЙ СХЕМЫ СЕТЧАТЫХ СИЛОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ В СИСТЕМЕ MSC.PATRAN

Рассмотрен порядок создания достоверных и простых моделей сетчатых конструкций космических аппаратов. Даны рекомендации по ключевым аспектам моделирования в системе MSC.Patran. Алгоритм нацелен на создание простой и одновременно достоверной модели, которая может быть использована на проектных этапах разработки современных спутников.

Ключевые слова: конечно-элементная модель, сетчатая изогридная конструкция, MSC.Patran.

A. A. Vnukov

JCS «Academician M.F. Reshetnev» Information Satellite Systems»,
Zheleznogorsk, Russia

THE ALGORITHM OF LATTICE LOAD-BEARING STRUCTURES DESIGNING BY THE MSC.PATRAN SOFTWARE

In this article the sequence of simple and authentic lattice load-bearing structures designing is presented. A references concerning of key aspects in MSC.Patran software modelling is provided. The algorithm is aimed at simple and simultaneously authentic model designing, this model may be used on the pre-designed stage of modern satellites projects.

Key words: Finite-element model, lattice isogrid structure, MSC.Patran.

В связи с постоянно ужесточающимися требованиями к срокам изготовления современных космических аппаратов возникает необходимость в перераспределении функций между проектными и конструкторскими подразделениями в пользу увеличения объёма работ, проводимых на этапе проектирования спутника. При этом к проектным оценкам предъявляются требования гарантирования принципиальной реализуемости, то есть уже на этапе проектных работ необходимо проводить анализы, подтверждающие правильность выбранной стратегии развития проекта. И если использование на начальном этапе проектирования программ

САПР очевидно, то применение специализированного программного обеспечения для анализа прочностных характеристик предлагаемого проектного решения всё ещё выглядит достаточно экзотически. Однако именно предварительный механический анализ проекта может сэкономить время разработки космического аппарата за счёт уменьшения числа итераций проверочных анализов конструкции.

В данной работе предложен алгоритм создания расчётной схемы сетчатых силовых конструкций для предварительного проектного механического анализа в среде MSC.Patran и даны рекомендации по использованию стандартных средств MSC.Patran для создания одновременно простых и достоверных моделей.

1. Моделирование цилиндрической сетчатой структуры

Сетчатые конструкции характеризуются тем, что распространение по ним внутренних усилий от внешнего нагружения заранее известно и определяется формой ячеек сетки, составляющей конструкцию. Следовательно, любую сетчатую конструкцию можно представить с помощью набора одномерных конечных элементов, расположенных вдоль центральных линий трёхмерных элементов, формирующих сетку.

В настоящее время широкое применение получили цилиндрические сетчатые структуры, используемые в том числе в качестве основы силовой схемы космических аппаратов. Внешний вид такой структуры представлен на рис. 1.

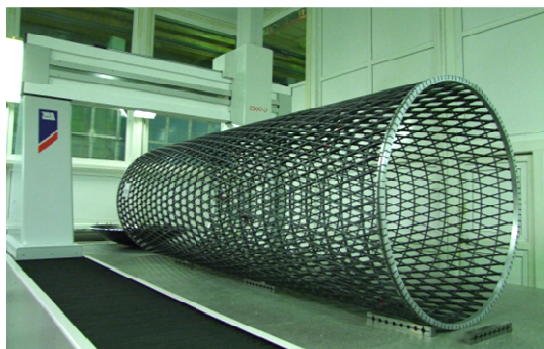


Рис. 1. Сетчатая силовая структура для космического аппарата

Характерная особенность этой конструкции заключается в наличии спиральных и кольцевых рёбер, которые, пересекаясь между собой, образуют изогридную структуру. Изогридность в данном случае является опорной точкой при построении модели: используя это свойство, можно ограничиться моделированием только одного характерного элемента сетки, а затем размножить его по линейному и круговому массивам.

Рассмотрим алгоритм построения расчётной схемы цилиндрической сетчатой структуры, представленной развёрткой на рис. 2.

Как видим, цилиндрическая сетчатая структура представляет собой набор одинаковых элементов [1], размещённых по цилиндрическому массиву между верхним и нижним шпангоутами. Следовательно, моделирование

такой структуры сводится к моделированию базового элемента с последующим размножением его переносом вдоль продольной оси конструкции и поворотом на 360° вокруг оси симметрии конструкции.

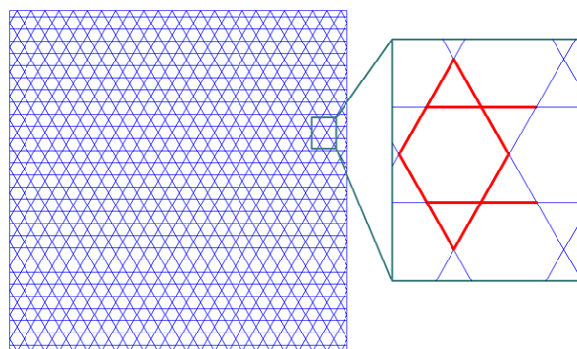


Рис. 2. Развёртка цилиндрической сетчатой структуры и её базовый составляющий элемент

В случае, изображённом на рис. 2, размер массива «вдоль образующей цилиндра» $\times$ «вдоль окружности цилиндра» равен 14×24 , то есть угол α_b поворота базового элемента вокруг оси симметрии конструкции при размножении составляет $360^\circ/24 = 15^\circ$.

При моделировании необходимо учитывать, что угол наклона ребра сетчатой структуры определяется углом γ его закрутки вокруг оси симметрии цилиндра (рис. 3).

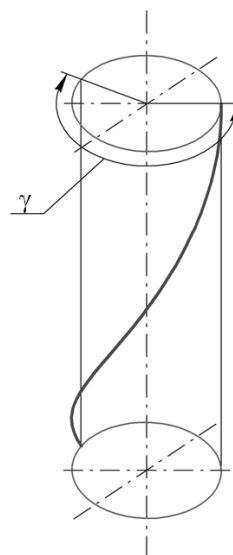


Рис. 3. Угол закрутки ребра сетчатой структуры

Для моделирования спирального ребра используется метод Geometry/Create/Curve/Manifold [2]; при этом корректность построения кривой определяется величиной угла за-

крутки: при угле больше 90° корректность не гарантируется. В связи с этим целесообразно разбивать спиральное ребро на участки, соответствующие длине базового элемента, при этом угол γ_b закрутки ребра базового элемента будет равен углу α_b .

Для последующего корректного построения сетки конечных элементов необходимо, чтобы в каждой точке пересечения спиральных и кольцевых рёбер, а также точек пересечения спиральных рёбер и торцевых шпангоутов сетчатой структуры находились узлы, принадлежащие всем пересекающимся кривым. Этого можно добиться, если разбить каждую пересекающуюся кривую на участки, для которых точки пересечения спиральных и кольцевых рёбер будут являться граничными точками. Кроме того, для упорядочения сетки конечных элементов на торцевых шпангоутах необходимо осуществить ассоциацию точек, принадлежащих спиральным рёбрам, с кривыми, соответствующими торцевым шпанго-

утам. Этапность построения расчётной схемы цилиндрической сетчатой структуры представлена на рис. 4.

Как видно, первые этапы алгоритма построения расчётной схемы сетчатой изогридной оболочки заключаются в синтезе декомпозиции конструкции до уровня отдельных участков, не имеющих внутренних точек пересечений с другими участками.

Важный этап построения расчётной схемы – задание параметров Properties конечно-элементной модели. Ключевым параметром для сетчатых структур, представляющих собой множество разнонаправленных bar-элементов, является BarOrientation. От правильности определения значения этого параметра зависит характер деформации всей конструкции, а значит, и достоверность проектных анализов. В случае цилиндрической структуры система MSC.Patran позволяет задать BarOrientation для всех рёбер – как кольцевых, так и спиральных, – в виде $\langle 0 \ 0 \ 1 \rangle$ (для

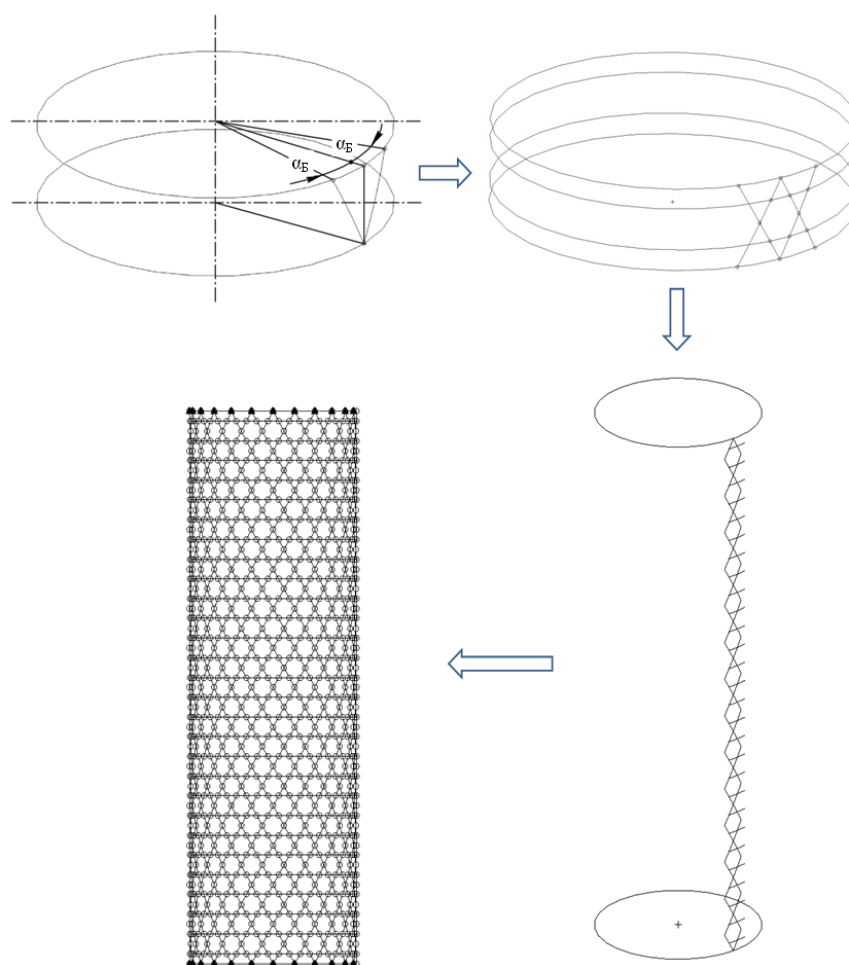


Рис. 4. Этапы построения расчётной схемы сетчатой цилиндрической структуры

случая, когда ось симметрии конструкции совпадает с осью Z модели).

Построенная на базе такой расчётной схемы конечно-элементная модель обладает высокой достоверностью (вследствие разбивки расчётной схемы на участки, ограниченные точками пересечения спиральных и кольцевых рёбер сетчатой структуры) и простотой (по причине использования одномерных конечных элементов), что позволяет при необходимости оперативно вносить изменения в модель и получать результаты, приемлемые для дальнейшего использования конструкторскими подразделениями.

2. Моделирование конической сетчатой структуры

Процесс моделирования конической сетчатой структуры идентичен моделированию цилиндрической структуры, за исключением двух ключевых особенностей. Во-первых, коническая сетчатая конструкция не обладает свойством изогридности: размер базовой ячейки меняется вдоль образующей конуса; а, во-вторых, для конической поверхности, в отличие от цилиндрической, невозможно подобрать параллельную ей прямую, вдоль которой можно сориентировать поперечное сечение ребра сетчатой структуры, поэтому использование параметра BarOrientation в виде $\langle 0 \ 0 \ 1 \rangle$ ведёт к некорректному результату расчётов.

В связи с отсутствием изогридности моделирование сетчатой структуры несколько усложняется: появляется необходимость размножать по массиву не один базовый элемент, как в случае цилиндрической структуры, а набор базовых элементов, расположенных вдоль образующей конической поверхности. Однако конические сетчатые структуры, как правило, обладают сравнительно небольшой высотой, поэтому моделирование набора базовых элементов не занимает много времени.

Что касается ориентации поперечных сечений спиральных рёбер, то она определяется технологией изготовления конструкций, заключающейся в наматывании множества слоёв ленты на коническую металлическую оправку. В процессе намотки слои располагаются строго один над другим, а поперечное сечение каждого спирального ребра оказывается перпендикулярно поверхности конической оправки.

В общем случае задача ставится следующим образом: необходимо смоделировать коническую ферму, изготавливаемую методом намотки ленты, пропитанной связующим, на коническую оправку (рис. 5).

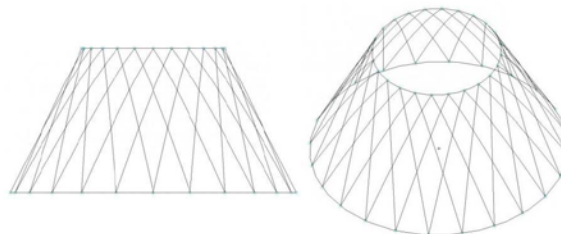


Рис. 5. Графическая основа модели конической фермы

Для достоверного решения этой задачи в качестве параметра BarOrientation задаём поле векторов, причём для каждой точки конической поверхности фермы существует вектор, принадлежащий полю векторов и перпендикулярный этой поверхности. Поскольку начало каждого вектора по умолчанию лежит в начале координат модели, определяем только координаты конца каждого вектора. Координаты X и Y конца вектора вследствие осевой симметрии конуса определяются координатами X и Y модели, а координата Z зависит от угла при вершине конической поверхности (рис. 6).

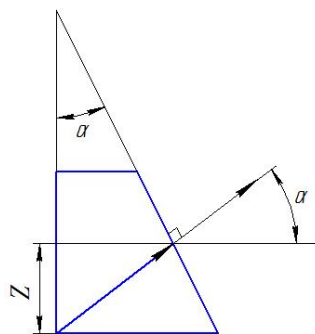


Рис. 6. Зависимость координаты Z вектора от параметров конической поверхности

В соответствии с рис. 6 Z вычисляется через тангенс угла α при вершине конической поверхности, при этом опять же вследствие осевой симметрии конуса общая формула для координаты Z выглядит следующим образом:

$$Z = \operatorname{tg} \alpha \cdot \sqrt{X^2 + Y^2};$$

$$Z = \operatorname{tg} \alpha \cdot \sqrt{X^2 + Y^2}.$$

В результате применения предлагаемого поля векторов в качестве параметра BarOrientation получается модель, с высокой

точностью передающая свойства реальной конструкции (рис. 7).

Итак, предлагаемый алгоритм создания расчётной схемы сетчатых силовых конструкций заключается в поэтапной декомпозиции конструкции с целью создания сетки bar-элементов, что позволяет унифицировать

работы по выбору оптимальной силовой схемы космического аппарата, а также сократить время, затрачиваемое на модификацию конечно-элементной модели в соответствии с изменёнными исходными данными. Сочетание простоты построения модели и высокой достоверности получаемых результатов механических анализов является ключевым преимуществом предлагаемой методики.

Библиографические ссылки

1. Optimal design of annular lattice structures / J. E. Jam, M. Noorabadi, N. Namdaran et al // Journal of Science and today's world. 2013. Vol. 2, Issue 1. P. 42–57.
2. Рыбников Е. К., Володин С. В., Соболев Р. Ю. Инженерные расчёты механических конструкций в системе MSC.Patran-Nastran : учеб. пособие : в 2 ч. М., 2003.

*Статья поступила в редакцию
07.08.2014 г.*



Рис. 7. Внешний вид участков пересечения рёбер модели конической сетчатой структуры