

УДК 539.3

**КОНЕЧНО – ЭЛЕМЕНТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ АНИЗОГРИДНЫХ
ЦЕЛЬНЫХ И ТРАНСФОРМИРУЕМЫХ ОБОЛОЧЕК**

Ковальчук Л.М.¹, аспирант II года обучения
Научный руководитель: Бурнышева Т.В.¹, д.т.н., доцент

¹Новосибирский государственный технический университет
Российская Федерация, 630073, г. Новосибирск, пр-т К.Маркса, 20.
E-mail: lida_kovalchuk_99@mail.ru

Введение

Анизогридные конструкции состоят из взаимно пересекающихся семейств ребер, образуя систему элементов [1]. При решении задач, связанных с изменением параметров реберной структуры, актуальной является задача об экономии ресурсов памяти ПК и времени затрачиваемого на моделирование и расчет НДС конструкций. Поэтому выделяют два подхода к моделированию анизогридных конструкций. Первый подход включает последовательное задание семейств ребер циклами, второй подход – выделение структурного элемента и тиражирование его по окружности.

Постановка задачи

Сетчатые цельные оболочечные композитные конструкции (рис.1) состоят из спиральных ребер с наклонами влево и вправо, кольцевых и шпангоутов по кромкам конструкции [2-4]. На нижнем шпангоуте конструкции располагались сферические шарниры.

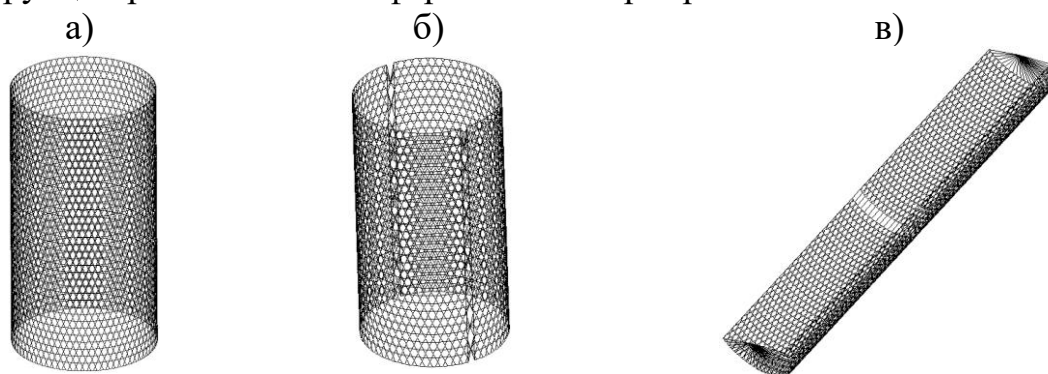


Рис. 1. Анизогридные конструкции

а) цельная оболочка; б) оболочка с вертикальными вырезами;
в) трансформируемая конструкция

**1. Моделирование анизогридных конструкций в ANSYS Mechanical
APDL**

Моделирование анизогридных конструкций проводилось в конечно – элементном комплексе ANSYS. При моделировании реберной структуры использовался двухузловой с шестью степенями свободы на каждый из узлов

конечный элемент BEAM4. В центре верхнего шпангоута располагается мнимый узел соединенный с узлами верхней кромки жесткими связями MPC184.

2. Подходы к моделированию анизогридных конструкций

Рассмотрим подходы, которые использовались при моделировании сетчатых конструкций. Первый подход это последовательное построение семейств ребер циклами. Блок – схема представлена на рис.2.

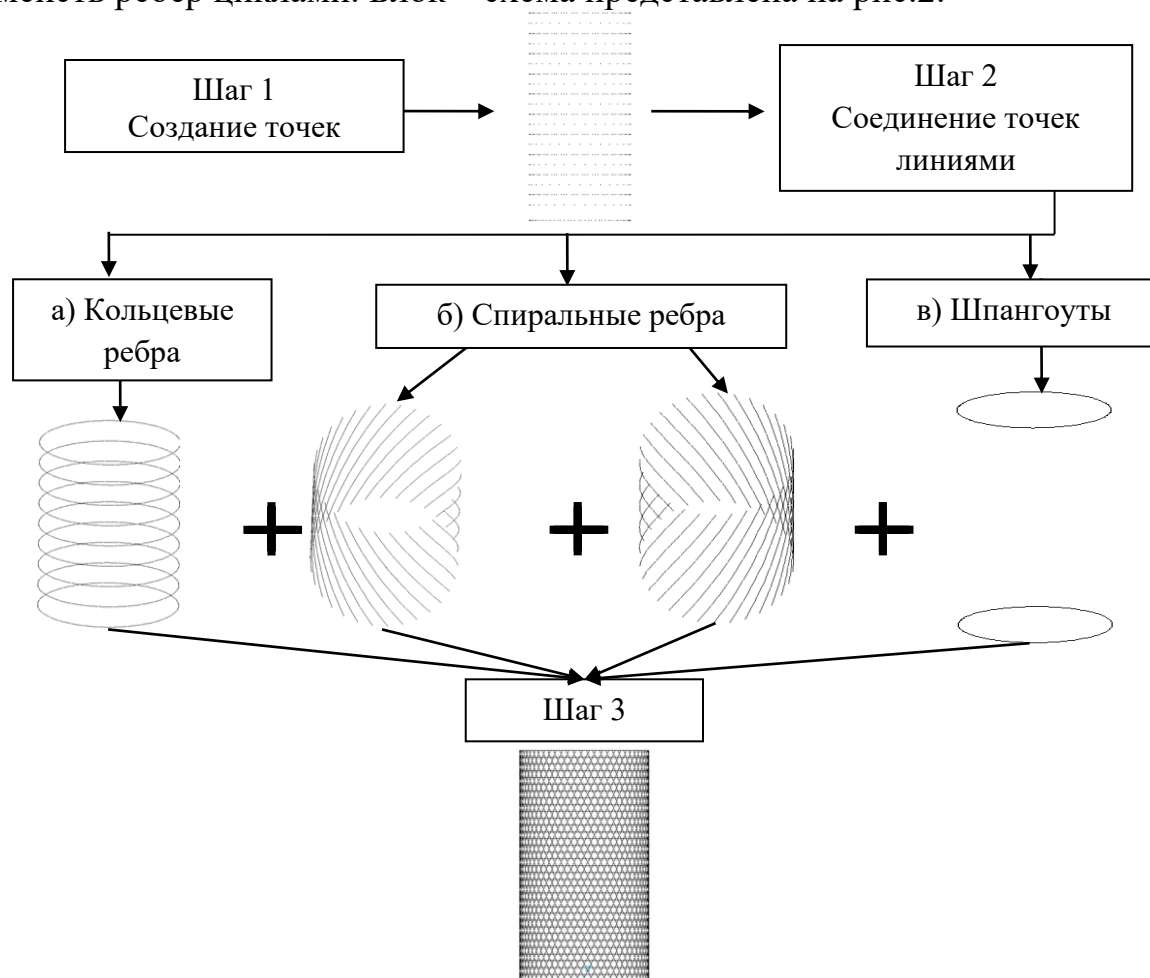


Рис. 2. Блок – схема построения цельной анизогридной конструкции

Второй подход к конечно – элементному моделированию параметрических анизогридных конструкций с усложненной реберной структурой показан на рис.3.

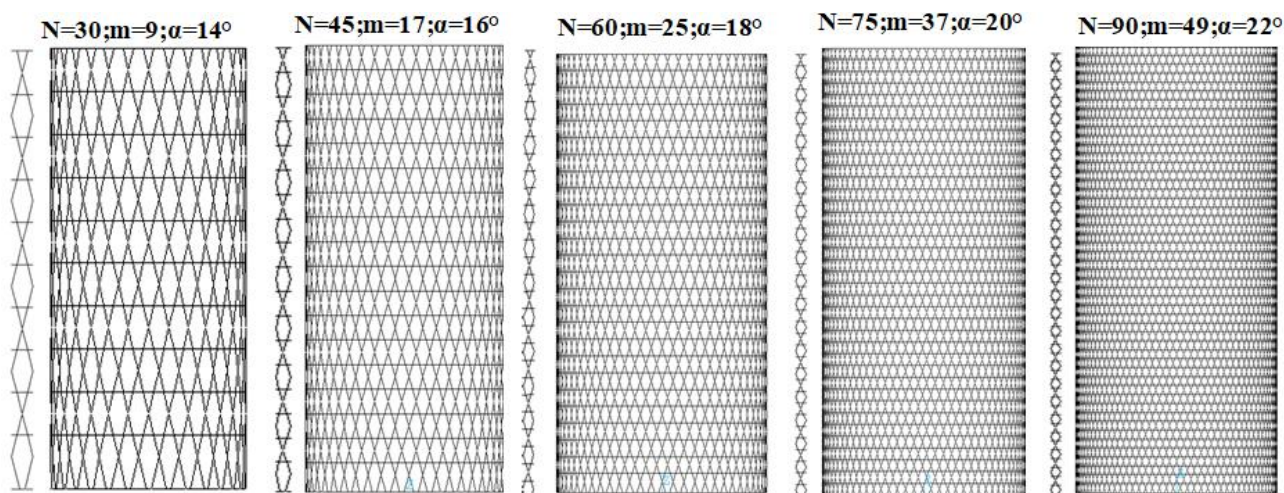


Рис. 3. Построение целой анизотридной конструкции вторым подходом

Вынесем затрачиваемое время на построение и расчет сетчатых конструкций на рис.4.

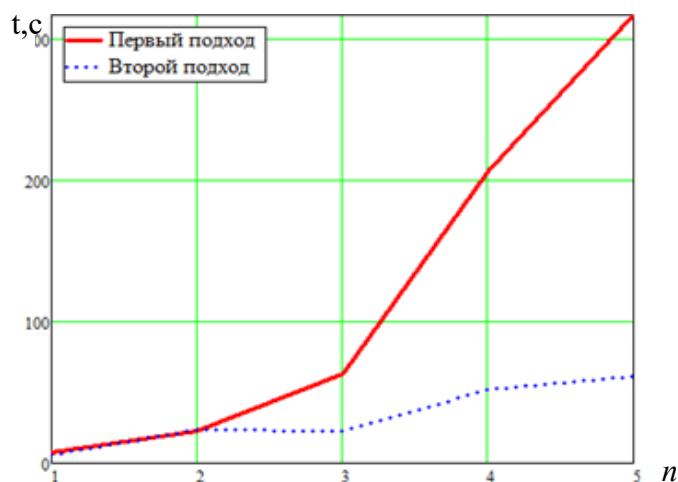


Рис. 4. Зависимость времени построения и расчета НДС сетчатых конструкций от плотности реберной структуры оболочек:
t – затраченное время Ansys Mechanical APDL на расчет и построение моделей;

n – номер конструкции

- (1 – 30 пар спиральных ребер угол наклона спирального ребра к образующей 14°;
- 2 – 45 пар спиральных ребер угол наклона спирального ребра к образующей 16°;
- 3 – 60 пар спиральных ребер угол наклона спирального ребра к образующей 18°;
- 4 – 75 пар спиральных ребер угол наклона спирального ребра к образующей 20°;
- 5 – 90 пар спиральных ребер угол наклона спирального ребра к образующей 22°)

Сравнивая подходы к моделированию сетчатых оболочечных конструкций можно отметить следующее: при втором способе время построения модели и затраченное на расчет НДС меньше, чем при использовании первого способа (рис.4). Таким образом, для моделирования трансформируемых оболочек используется второй подход.

3. Моделирование анизотропных трансформируемых конструкций в ANSYS Mechanical APDL

Процесс раскрытия конструкции

В цилиндрической анизотропной оболочке с регулярной сетчатой структурой (рис.5(а)) выполняются два вертикальных разреза. В таком сложенном виде сетчатая конструкция (рис.5 (б)) выводится на орбиту. Под действием специализированного устройства сложенная конструкция раскрывается в безвоздушном пространстве (рис.5 (в)).

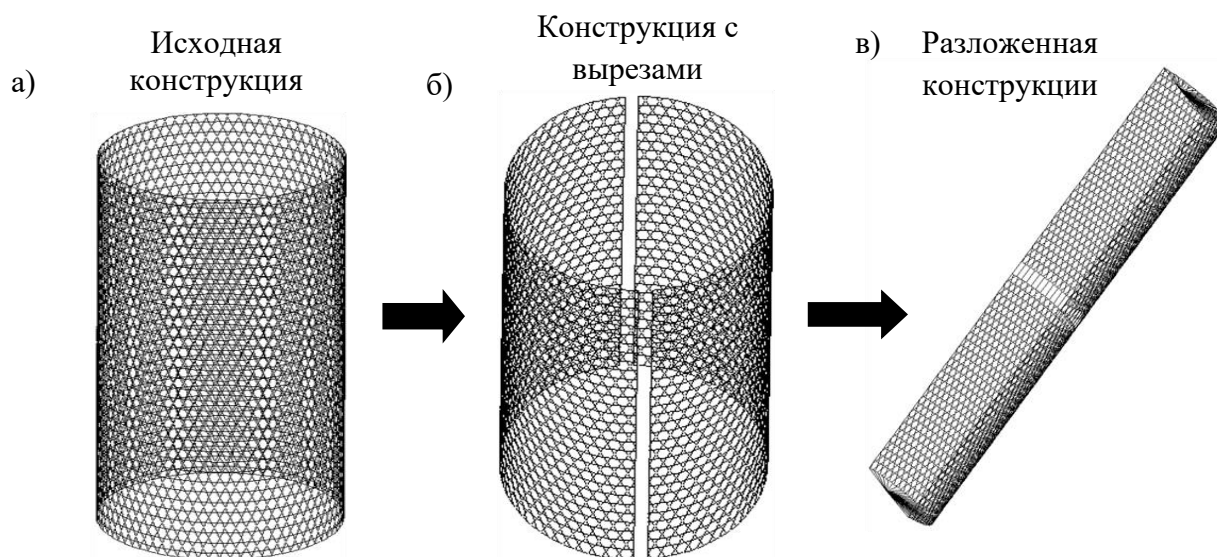


Рис. 5.Схема трансформации сетчатой конструкции

Моделирование конструкции с вертикальными разрезами проводилось в ANSYS Mechanical APDL по схеме, приведенной на рис.6.

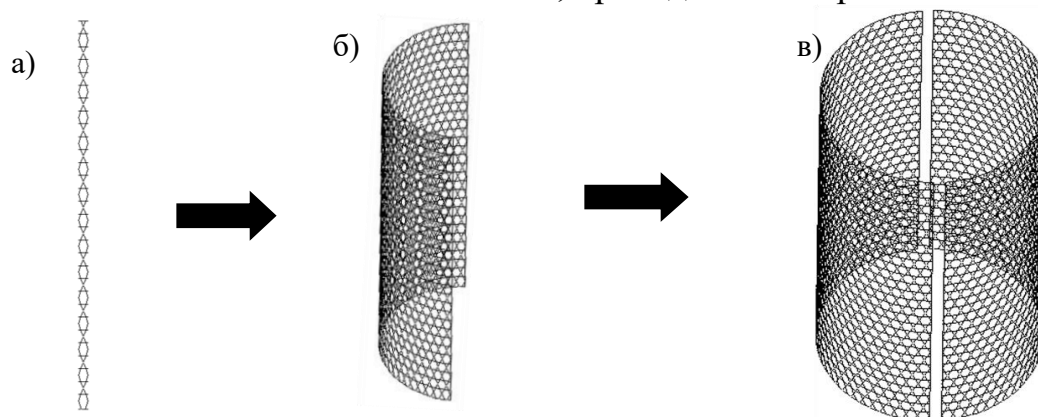


Рис. 6. Схема для моделирования анизотропной конструкции с вертикальными разрезами
а) структурный элемент
б) сгенерированная половина конструкции

в) конструкция с вертикальными разрезами

Моделирование проводилось с помощью копирования структурного элемента командой LGEN. Изначально задавался структурный элемент (рис.6 (а)), который тиражировался по дуге (рис.6 (б)). Вырез одного элемента составляет шесть градусов по дуге – это один структурный элемент. После копируем половину оболочки, получаем разложенную конструкцию. Далее рассмотрим построение раскрытой конструкции (рис.7).

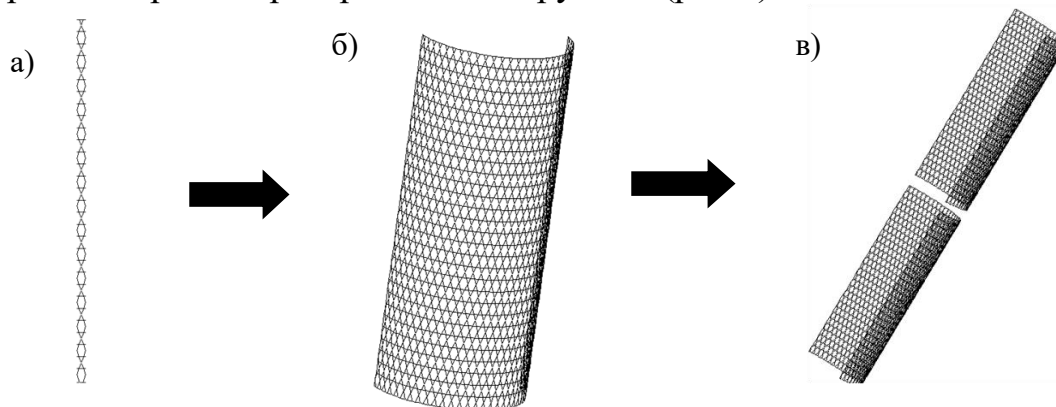


Рис. 7. Схема моделирования анизотридной конструкции

а) структурный элемент

б) сгенерированная половина конструкции с вырезами

в) раскрытая конструкция

После завершения этапа моделирования присвоим конечные элементы линиям (рис.8).

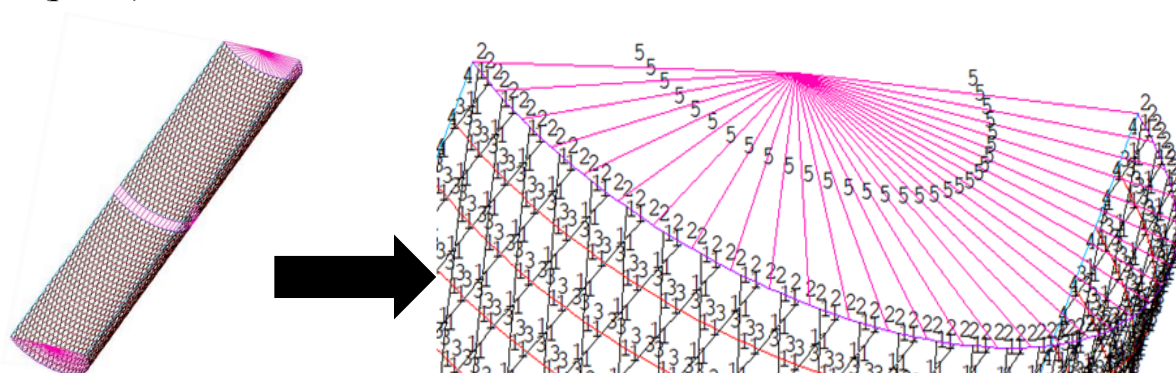


Рис. 8. Конечно – элементная модель

(1 – спиральные ребра (BEAM4); 2 – шпангоуты (BEAM4);

3 – кольцевые ребра (BEAM4); 4 – продольные ребра (BEAM4);

5 – жесткие связи (MPC184))

Зададим граничные условия конструкции (рис. 9). Исследуем напряженное состояние данного типа конструкций при кручении [5,6]. К мнимым узлам, расположенным в плоскостях торцевых сечений конструкции, в качестве граничных условий закладывались два противоположно направленных крутящих момента.

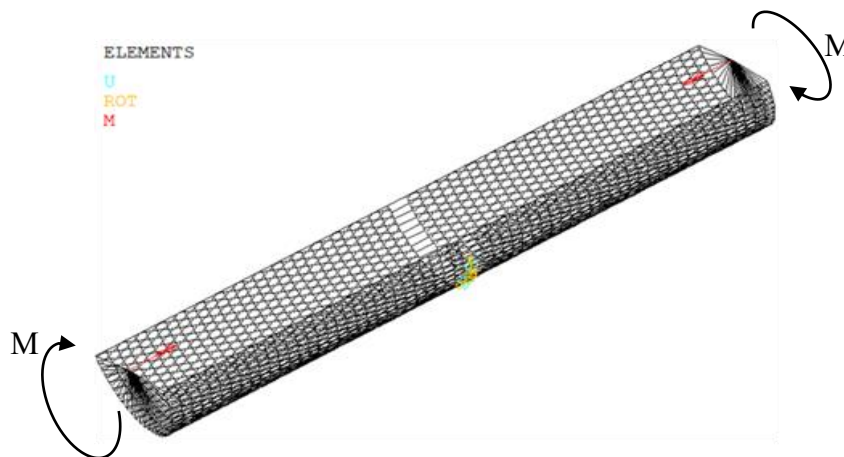


Рис. 9. Граничные условия при кручении
(M – значение крутящего момента вокруг оси z ;
 u – ограничение в перемещениях rot – ограничения по поворотам)

4. Исследование напряженного состояния раскрытой конструкции

На рис. 10. представлены поля напряжений в конструкции и ее структурных элементах.

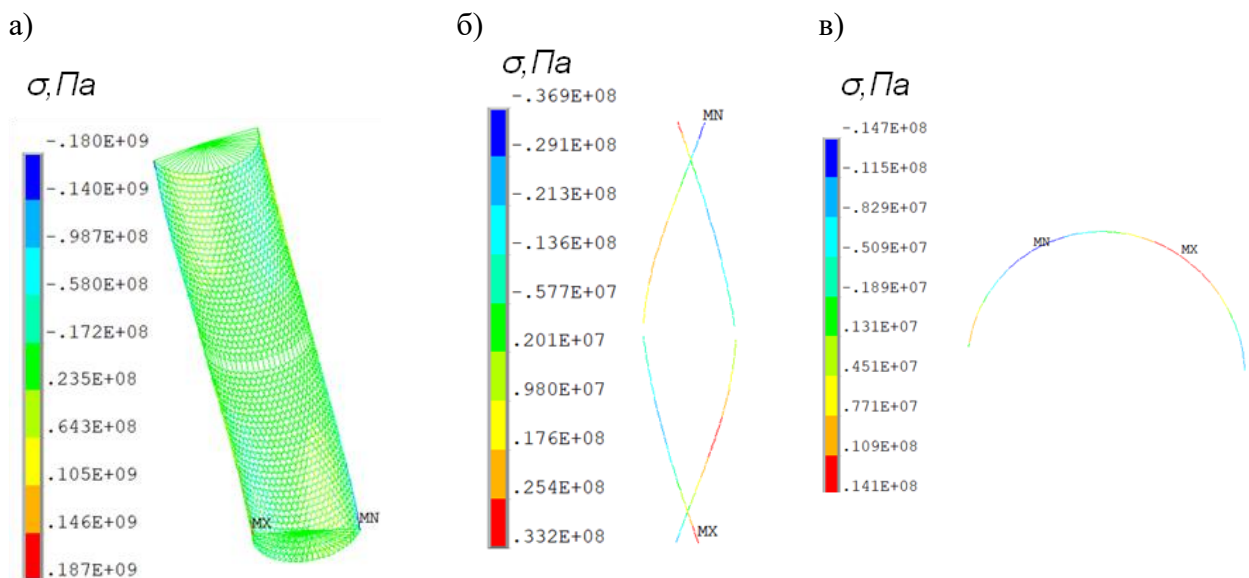


Рис.10. Поля напряжений раскрытой конструкции при кручении
а) – поля напряжений всей конструкции;
б) – спиральные ребра;
в) – центральное кольцевое ребро

Анализ напряженного состояния показал, что спиральные ребра имеют зоны сжатия и растяжения, это обусловлено связностью анизогридной структуры. Максимальные напряжения в ребрах не превышают допустимых значений, равных 1000 МПа. Таким образом, можно утверждать, что конструкция выдерживает эксплуатационные нагрузки.

Выводы

Рассматривались два подхода к моделированию анизогридных оболочек с различной плотностью реберной структуры. В ходе исследования были построены зависимости времени построения и расчета от реберной структуры анизогридных конструкций. Подход к построению дискретной модели сетчатой структуры оказывает влияние на время расчета. Рекомендуется при моделировании использовать подход с тиражированием структурного элемента по окружности, так как этот способ является наименее затратный по времени и ресурсам ПК.

Продемонстрировано построение конечно-элементных моделей трансформируемых конструкций. Проведен анализ напряженного состояния в ребрах раскрытой конструкции при кручении. В спиральных и кольцевых ребрах присутствуют зоны растяжения и сжатия.

Библиографические ссылки

1. Васильев, В. В. Механика конструкций из композиционных материалов [Текст] / В. В. Васильев. – М.: Машиностроение, 1988. – 272 с.
2. Ковальчук Л. М. Оценка надежности сетчатой оболочки без обшивки при кручении / Л. М. Ковальчук ; науч. рук. Т. В. Бурнышева. - Текст : электронный // Россия молодая : сб. материалов 13 Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием, Кемерово, 18-21 апр. 2023 г. - Кемерово : Кузбас. гос. техн. ун-т им. Т. Ф. Горбачева, 2023. - № ст. 042306.1. - URL:
3. Ковальчук Л. М. Анализ деформирования ребер сетчатых цилиндрических оболочек при кручении = Analysis of deformation of the edges of mesh cylindrical shells during torsion / Л. М. Ковальчук, Т. В. Бурнышева. – Текст : непосредственный // Наука. Промышленность. Оборона : тр. 23 Всерос. науч.-техн. конф., посвящ. 100-летию основания конструкторского бюро «Туполев», Новосибирск, 20–22 апр. 2022 г. : в 4 т. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2022. – Т. 1. – С. 43–47. – 25 экз. – ISBN 978-5-7782-4693-5.
4. Ковальчук Л. М. Исследование напряженного состояния и оценка устойчивости анизогридной цилиндрической оболочки при изменении параметров реберной структуры при статическом нагружении = Investigation of the stress state and assessment of the stability of an anisogrid cylindrical shell when changing the parameters of the rib structure under static loading / Л. М. Ковальчук, Т. В. Бурнышева. – DOI 10.31772/2712-8970-2022-23-1-81-92. – Текст : непосредственный // Сибирский аэрокосмический журнал = Siberian Aerospace Journal. – 2022. – Т. 23, № 1. – С. 81–92.
5. Ковальчук Л. М. Исследование напряженного состояния сетчатой композитной оболочки без обшивки при кручении / Л. М. Ковальчук, Т. В. Бурнышева. – Текст : непосредственный // Проблемы прочности авиационных конструкций и материалов : материалы Всерос. науч.-практ. конф., Новосибирск, 7–10 сент. 2022 г. – Новосибирск : СибНИА им. С. А. Чаплыгина, 2022. – С. 37–39. – ISBN 978-5-6043216-4-5.

6. Ковальчук Л. М. Конечно-элементный расчёт на прочность и устойчивость анизотропной оболочки при кручении / Л. М. Ковальчук, Т. В. Бурнышева ; науч. рук. Т. В. Бурнышева. – Текст : непосредственный // Наука. Технологии. Инновации : сб. науч. тр. 16 Всерос. науч. конф. молодых ученых, Новосибирск, 5–8 дек. 2022 г. : в 11 ч. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2022. – Ч. 11. – С. 30–34. – 100 экз. – ISBN 978-5-7782-4872-4.

© Ковальчук Л.М., Бурнышева Т.В., 2025