**Определение потенциальной энергии шестиугольной отбортовки блока составной конструкции, состоящей из основания в форме шестиугольной пластины, жестко связанной с круговой цилиндрической оболочкой**

И.А.Маяцкая,И.А.Краснобаев, Икуру Годфрей Аарон

Разработка методов расчета составных конструкций, состоящих из таких элементов как различные пластины и оболочки остается в центре внимания ученых, занимающихся исследованием напряженно-деформированного состояния сложных пространственных конструкций[1]–[10].

Конструкция состоит из ряда идентичных блоков, скрепленных друг с другом. Каждый такой блок состоит из основания в форме шестиугольной пластины, жестко связанной с основанием круговой цилиндрической оболочки, верхний торец которой усилен шестиугольной отбортовкой. Скрепление блоков друг с другом произведено с одной стороны по вершинам шестиугольных пластин, а с другой – по соответствующим вершинам отбортовок. Рассмотрим напряженно-деформированное состояние отбортовки составной конструкции, состоящей из некоторого числа идентичных блоков, скрепленных друг с другом.

Из составной конструкции вырежем отдельный блок, причем заменим воздействие со стороны других блоков эквивалентной системой сил. Далее будет рассмотрен метод, с помощью которого завершается переход от одного блока ко всей конструкции. Для простоты сначала рассмотрим тот случай, когда нагрузка приложена в точке *Аi* – одной из вершин шестиугольного основания и в точке *Вi* – вершине шестиугольной отбортовки, соответствующей точке *Аi*, ( *i=1,2,..,6* ), причем, случай симметричного нагружения рассмотрим отдельно. Таким образом, рассмотрим один вырезанный из всей конструкции блок. Поскольку даже отдельный блок является достаточно сложной конструкцией, рассмотрим только одну его составную часть – шестиугольную отбортовку.

Примем следующие допущения и гипотезы. Толщины, как пластинки, так и цилиндрической оболочки достаточно малы, поэтому к ним при построении теории применима гипотеза Кирхгоффа-Лява, кольцеобразная шестиугольная отбортовка рассмотрена как стержень, деформируюшийся совместно с верхним краем цилиндрической оболочки. Материал блока принят упругим, однородным, изотропным. Внешняя нагрузка считается приложенной в вершинах шестиугольных пластин оснований. Для решения задачи используется известный вариационно-энергетический метод, состоящий в подсчете потенциальной энергии деформации и работы, производимой внешним нагружением и доставлении величине энергии минимума, соответствующего действительным перемещениям. Рассмотрим нижнее основание блока – шестиугольное подкрепляющее кольцо, называемое в дальнейшем телом III. В соответствии с допущениями рассмотрим кольцо как кривой стержень постоянного поперечного сечения (рис. 1). Ошибка, вносимая в расчеты при таком упрощенном рассмотрении формы подкрепляющего кольца будет невелика. Так как окантовка принята как одномерное тело, то положение её точки до деформации можно охарактеризовать как некоторую функцию угла *φ*. Окантовка жестко соединена с верхним торцом цилиндрической оболочки, поэтому перемещения кольца получают через перемещения в произвольной *к-ой* точке конструктивного элемента тела II, полагая в формулах:

;  . (1)

В результате получаем



 (2)

.

Выведем энергию деформации отбортовки (телаIII), которая складывается из трех компонент, о именно, из энергии кручения стержня, энергии растяжения и энергии изгиба: . (3)

Для определения энергии кручения найдем угол закручивания стержня, который равен углу наклона касательной торцевого сечения тела II (рис. 2)

. (4)

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| Рис. 1.– Нижнее основание блока.  | Рис. 2.–Угол закручивания стержня. |

Энергия кручения определена полностью , (5)

где – жесткость стержня при кручении; – расстояние от оси тела II до центра тяжести поперечного сечения стержня.

Для определения энергии растяжения необходимо определить соответствующую ей деформацию стержня. Для этого две бесконечно близкие точки *А* и *В*, которые принадлежат одновременно телу II и телу III (рис. 3).

Обозначим через *dφ* угол между радиус – векторами точек *А* и *В*. В результате деформации точки *А* и *В* перейдут соответственно в точки *А1*  и *В1*.

|  |
| --- |
|  |
| Рис. 3. –Схема для определения энергии растяжения. |

В следствии неразрывности деформаций эти точки и после деформации будут принадлежать как телу II, так и телу III.

Учитывая, что точки *А* и *В* принадлежат телу II, можно найти положение точек *А1*  и *В1*, зная перемещения тела II. Точка *А* по дуге переместится на  и по радиусу на . Точка *В* переместится соответственно; , *А1В1* – линия после деформации. Обозначив деформацию растяжения *ε*, получим: . Очевидно, что ; .

После простых преобразований, сохраняя только малые первого порядка, получим  . (6)

Используя формулу (6), можно определить потенциальную энергию растяжения стержня , (7)

где *F* – площадь поперечного сечения стержня; *Е* – модуль упругости, модуль Юнга. Для определения энергии изгиба стержня отнесем его к главным центральным осям *η, ζ* любого поперечного сечения (рис. 4)

 ; , (8)

где *ω* – угол наклона оси *ζ*  к оси *x*.

|  |
| --- |
|  |
| Рис. 4. –Схема для определения энергии изгиба. |

Энергия изгиба для тела III после ряда преобразований принимает вид

 (9)

Таким образом, энергия деформации отбортовки (тела III) определена полностью.

**Литература:**

1. Краснобаев И.А., Маяцкая И.А. Основы расчета на изгиб тонких жестких пластин [Текст]: Монография / Краснобаев И.А., Маяцкая И.А. – Ростов н/Д, РГСУ, 2011.– 87 с.

2. Краснобаев И.А., Маяцкая И.А., Смирнов И.И., Языев Б.М. Теория пластин и оболочек: [Текст]: Монография / Краснобаев И.А., Маяцкая И.А., Смирнов И.И., Языев Б.М. – Ростов н/Д, РГСУ, 2011.– 114 с.

3. Амосов А.А. Техническая теория тонких упругих оболочек: [Текст]: Монография / Амосов А.А.–М.:АСВ, 2009, – 332 с.

4. Филин А.П. Элементы теории оболочек.–Л.:Стройиздат, 1975, – 256 с.

5. Огибалов П.М., Колтунов М.Л. Оболочки и пластины.–М.:МГУ, 1969, – 696 с.

6. Calladine C.R. Theory of shell structures.– N.Y.: Cambridge University Press, 1989, –788 p.

7. Zingoni A. Shell structures in civil and mechanical engineering.– N.Y.: Thomas Telford Publishing, 1997, –351 p.

8.Литвинов В.В., Кулинич И.И. Соотношения между компонентами поверхностной нагрузки в оболочках вращения при безмоментном их состоянии.[Текст] //Интернет-журнал «Инженерный вестник Дона». 2012 №4 (2) [Электронный ресурс].-М. 2012. – Режим доступа: <http://www.ivdon.ru>.

9.Стрельников Г.П., Бурцева С.В., Авилкин В.И. К расчету оболочек вариационно-энергетическим методом.[Текст] //Интернет-журнал «Инженерный вестник Дона». 2012 №4 (2) [Электронный ресурс].-М. 2012. – Режим доступа: <http://www.ivdon.ru>.

10. Тимошенко С.П., Войновский-Кригер С. Пластинки и оболочки.–М.:Наука, 1966, – 636 с.