

ПОДАТЛИВОСТЬ СТЫКОВ СБОРНЫХ КЛЕЕФАНЕРНЫХ
ГИПЕРБОЛИЧЕСКИХ ОБОЛОЧЕК

д.т.н. Стоянов В.В., к.т.н. Михайлов А.А.,
инж. Бех Н.В.

(г.Одесса, ОГАСА)

Рассматривается сборная гиперболическая оболочка составленная из большеразмерных клефанерных элементов длиной равной пролету оболочки (рис.1) 1, 2 :

а) большеразмерных
сборный элемент

б)

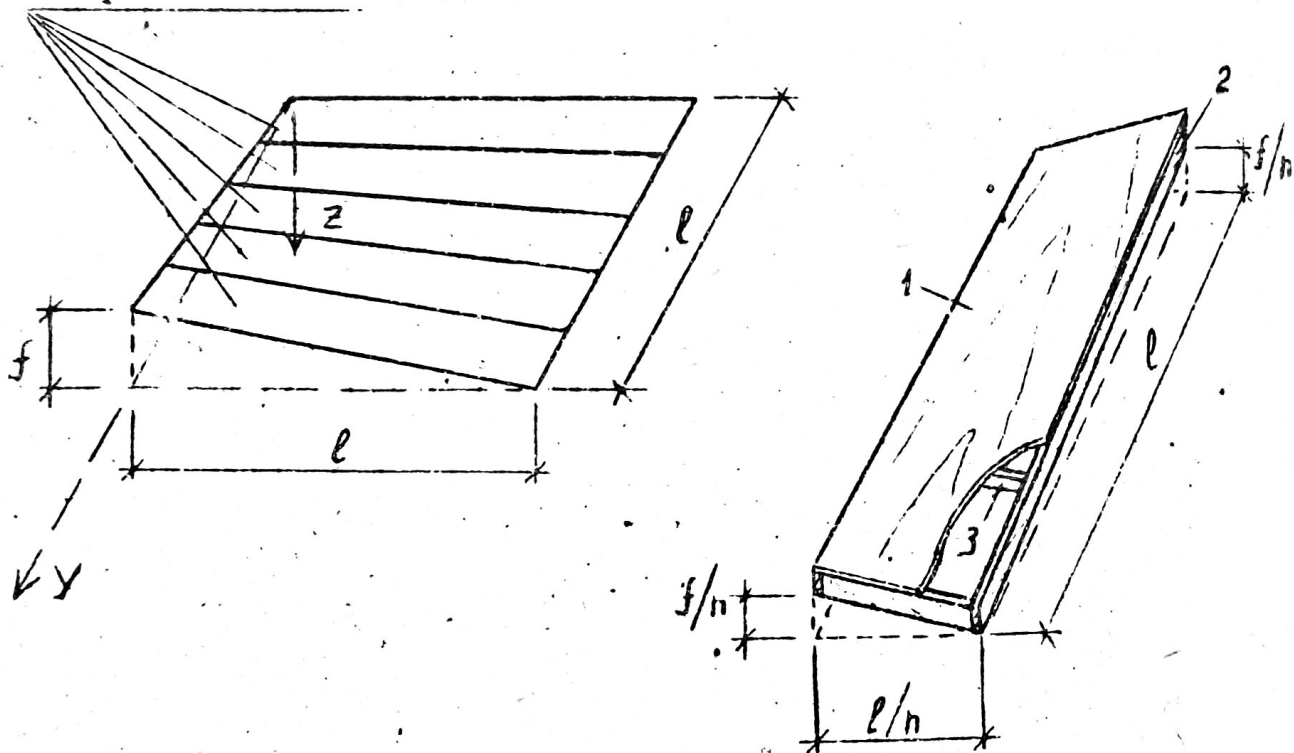


Рис. 1

а - общий вид;

б - большеразмерный клефанерный элемент;

1 - обшивка; 2 - продольное ребро; 3 - поперечное ребро;

n - число сборных элементов.

Разнообразие конструктивных решений стыков сборных элементов в определенной степени влияет на податливость оболочки в целом. Представляется, что учет податливости оболочки должен быть регламентирован в общем виде параметрами жесткости. В этом случае полученная система уравнений дает возможность учесть влияние принятого конструктивного решения на жесткость оболочки.

Расположим систему координат на поверхности приведения обшивки (рис. 2), которая не совпадает со срединной поверхностью, а ось Z направим по внешней нормали. Главные оси инерции поперечных сечений ребер совпадают с нормалью к срединной поверхности обшивки осью Z и с одной из осью координат, расположенной на поверхности приведения.

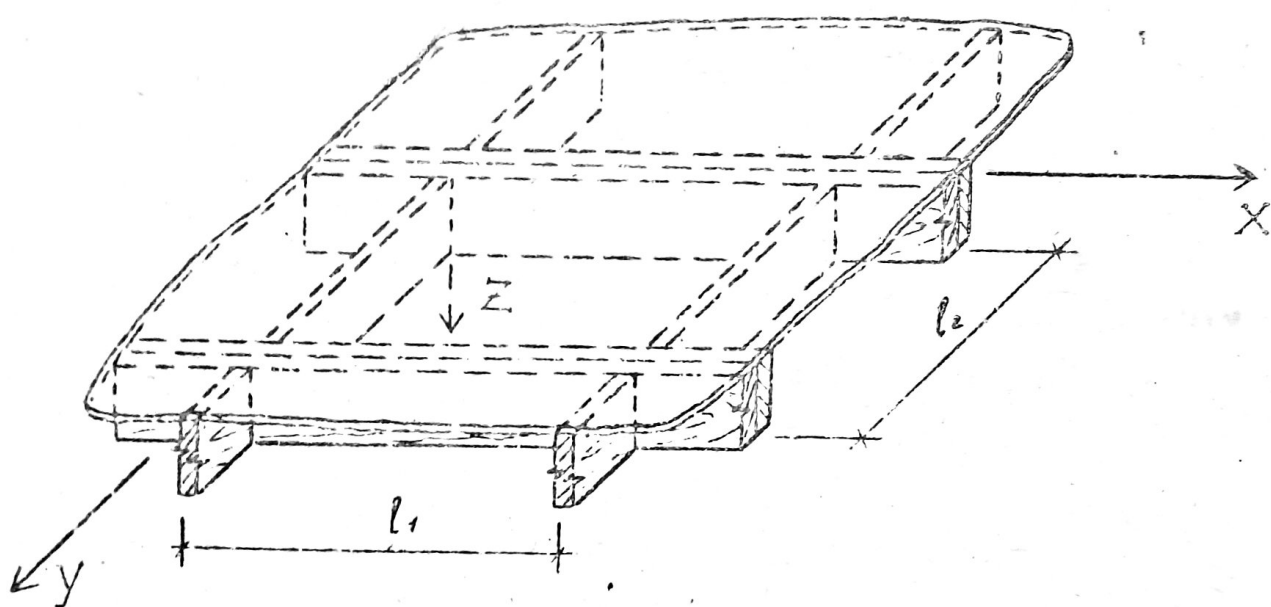


Рис. 2 Фрагмент подкрепленной обшивки.

Будем считать, что обшивка с ребром работает совместно без скольжения и не выпучивается при нагружении оболочки. Последнее допущение предполагает, что обшивка в промежутке между ребрами не теряет устойчивости, а следовательно, не искажает характера распределения усилий в поле оболочки.

Введем в рассмотрение следующие параметры жесткости:

$$B_{1(2)} = \frac{E_{1(2)} \cdot R}{1 - \mu^2} \quad , \quad (I)$$

- жесткость обшивки при растяжении-сжатии в ортогональных направлениях;

$$D_{1(2)} = \frac{E_1(2)}{1-\mu^2} J_{обш}, \quad (2)$$

- жесткость обшивки при изгибе в ортогональных направлениях;

$$B_{11} = B_1 + 2 \frac{E_1 \cdot F_1}{l_1}, \quad (3)$$

- жесткость оболочки при растяжении в направлении оси X ;

$$B_{22} = B_2 + \frac{E_{сш} \cdot d_2 \cdot F_{сш}}{l_2}, \quad (4)$$

- жесткость оболочки при растяжении в направлении оси Y с учетом податливости в стыках;

$$D_{11} = D_1 + 2 \frac{E \cdot J_1}{l_1}, \quad (5)$$

- параметр жесткости оболочки при изгибе в направлении оси X ;

$$D_{22} = D_2 + \frac{E \cdot J_2}{l_2} K_n, \quad (6)$$

- параметр жесткости оболочки при изгибе в направлении оси Y с учетом податливости в стыках;

$$D_{12} = D_1 \cdot (1 - \mu) + \frac{A_1}{l_1} K_n; \quad (7)$$

- жесткость подкрепленной оболочки при кручении вокруг оси X с учетом податливости в стыках;

$$D_{23} = D_2 \cdot (1 - \mu) + \frac{A_2}{l_2}, \quad (8)$$

- жесткость подкрепленной оболочки при кручении вокруг оси Y .

В выражениях (1) - (8) приняты следующие обозначения:

F_1, F_2 - площадь поперечных сечений подкрепляющих ребер;

J_1, J_2 - момент инерции поперечных сечений ребер относительно осей, лежащих на поверхности приведения;

l_1, l_2 - расстояние между подкрепляющими ребрами (рис.2);

A_1, A_2 - жесткости при кручении подкрепляющих ребер;

K_n - коэффициент, учитывающий податливость стыка сборных элементов при изгибе и кручении. В случае устройства стыка на болтах $K_n = 0,6$. Это следует из условия смятия древесины на $2/3$ ширины ребра, когда при изгибе

нагеля смятие древесины в нагельном гнезде происходит на $1/3$ его длины. Экспериментальными исследованиями [1] подтверждено повышение деформативности оболочки на 50-60% в точке стыка сборных элементов по сравнению с неразрезными.

Кроме того, в выражении (4) принято, что жесткость ребра при растяжении обусловлена жесткостью сминаемой части древесины под шайбой.

$$\frac{E_{см.др} \cdot F_{ш}}{l_2}$$

где $F_{ш}$ - общая площадь шайб между двумя ребрами.

Соотношения упругости с учетом принятых здесь параметров жесткости будут иметь вид:

$$\begin{aligned} M_1 &= B_{11} \varepsilon_1 + m B_{12} \varepsilon_2 ; & M_2 &= m B_{21} \varepsilon_1 + B_{22} \varepsilon_2 ; \\ S_{12} &= (B_{12} - m B_{21}) \varepsilon_1 ; & S_{21} &= (B_{21} - m B_{12}) \varepsilon_2 ; \end{aligned} \quad (9)$$

$$\begin{aligned} M_1 &= D_{11} X_1 - D_{12} X_2 ; \\ M_2 &= -D_{21} X_1 - D_{22} X_2 ; \\ N_1 &= -D_{13} X_3 ; & N_2 &= -D_{23} X_3 . \end{aligned} \quad (10)$$

Уравнение поверхности пологой гиперболической оболочки в декартовых координатах имеет вид (рис. I)

$$Z = K_{12} X Y \quad , \quad (11)$$

где

$$K_{12} = \frac{\partial^2 Z}{\partial X \partial Y}$$

Используя принятые соотношения упругости (9-10) и параметры жесткости (1-8), можно получить (при действии нормальной составляющей внешней нагрузки - q), основные уравнения для расчета пологой сборной подкрепленной оболочки гитар с однородной ортотропной обшивкой [1]:

$$L \cdot \varphi + L_0 \cdot W - q = 0 \quad (12)$$

$$L_0 \cdot \varphi - L \cdot W = 0$$

где линейные дифференциальные операторы наполнены принятыми выше параметрами жесткости:

$$L = 2K_{12} \frac{\partial^2}{\partial X \partial Y} \quad , \quad (13)$$

$$L_2^* = D_{11} \frac{\partial^4}{\partial x^4} + (D_{11} \cdot M + D_{13} + D_{23} + M D_{22}) \kappa \cdot \frac{\partial^4}{\partial x^2 \partial y^2} + D_{22} \frac{\partial^4}{\partial y^4} \quad (14)$$

$$L_3 = \frac{B_{22}}{B_{11} B_{22} - M^2 B_1 B_2} \frac{\partial^4}{\partial y^4} + \frac{B_{11}}{B_{11} B_{22} - M^2 B_1 B_2} \frac{\partial^4}{\partial x^4} - \frac{2}{(B_1 - M B_2)} \frac{\partial^4}{\partial x^2 \partial y^2} \quad (15)$$

Система уравнений (12) может быть использована для определения усилий, моментов и перемещений с учетом податливости стыков сборных элементов при различных заданных краевых условиях.

Литература

1. Стоянов Б.В., Узун Н.И. Сборные клефанерные гиперболические оболочки. К., Штиинца, 1981, 78 с.
2. Стоянов Б.В. Конструирование легких гиперболических покрытий. К., КИИ, 1991, 52 с.