

ИССЛЕДОВАНИЕ УЗЛОВ С ПРОДОЛЬНЫМИ РЕБРАМИ ТРУБЧАТЫХ СТАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Параллельные ребра, поставленные по образующим цилиндрической оболочки находят широкое применение в узлах строительных конструкций производственных зданий и сооружений сельскохозяйственного назначения, а также технологических аппаратов. Так, отрезок швеллера, насаженный на трубу, выполняет роль либо опорного столбика, либо кроме уточного элемента для прикрепления раскосов трубчатой фермы к поясу без фигурного гребня их торцов; при частичном сдвигивании торцов раскосов передача усилий на поясную трубу осуществляется в основном, по двум образующим цилиндра в местах приварки. Узлы крепления подвешенного транспортного оборудования, а также узлы опирания трубопроводов решаются посредством столбика швеллерного очертания. Конструкции опор вертикальных и горизонтальных цилиндрических аппаратов и сосудов сельскохозяйственного назначения, по существу, представляет собой парные продольные ребра неразмального направления, передающие реакцию на боковую стенку в виде узлового продольного момента, продольного и тангенциального усилий. Заметим, что в ряде узлов продольные ребра входят в комплекс, работая совместно с кольцевыми ребрами и накладками.

В настоящее время конструктор не в состоянии оценить расчетным путем несущую способность узлов цилиндрических оболочек с нагруженными ребрами и поэтому их размеры назначаются умозрительно, в лучшем случае сопровождаая проверкой экспериментом. К тому же, многообразие соотношений геометрических параметров входящих в них элементов не позволяет охватить дорогостоящим и трудоемким экспериментом широкий класс конструктивных решений. Таким образом, возникает проблема аналитического исследования напряженно-деформированного состояния узлов с ребрами в трубчатых стальных конструкциях. При этом, определение напряжений и деформаций в оболочке-трубе связано со значительными математическими трудностями в части выявления закона распределения нагрузки по области контакта конструктивных элементов с оболочкой.

Чтобы разработать аналитический метод расчета сопряжения системы продольных ресер с цилиндрической стальной оболочкой (Рис. I), предварительно исследовалось напряженно-деформированное состояние трубы с нагрузкой в середине пролета, приложенной к продольно-радиальному ребру [I].

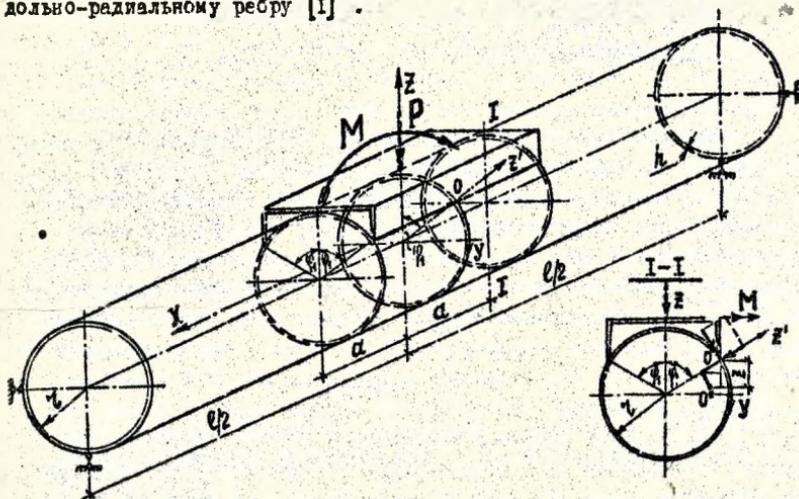


Рис. I. Нагружение оболочки-трубы через продольные ребра.

В решении рассматривалась контактная передача продольного изгибающего момента по линии сопряжения фасонки с поверхностью трубы, испытывавшей осевую нагрузку сжатия или растяжения. В качестве основной системы была принята оболочка открытого типа, получаемая из рассматриваемой путем продольного разреза по образующей в плоскости действия нагрузки, которая принималась в виде комбинации элементарных функций, приложенных к открытым краям. При этом действие продольного усилия представлялось в виде фиктивной поперечной нагрузки и разрешалось уравнение равновесия записывалось в следующем виде:

$$\nabla^2 W + 12(1-\mu^2) \frac{z^2}{h^3} \frac{\partial^2 W}{\partial x^2} - \frac{E z^2}{D} \nabla^4 \frac{\partial W}{\partial x^2} = 0 \quad (I)$$

Решение принималось в одинарных тригонометрических рядах, подчинив константы интегрирования условиям совместной деформации оболочки в месте фиктивного продольного разреза. Функции контактной нагрузки разлагались в ряд по фундаментальным функциям решения оболочки и из дифференциальной зависимости поперечной силы от прогиба устанавливается связь между коэффициентами ряда для функции контактной на-

грузки и коэффициентами ряда для прогиба. Закон распределения контактной нагрузки отыскивался из условия совместности перемещения нагруженного ребра и оболочки, вычисляя коэффициенты ряда методом коллокации.

При рассмотрении более общего случая нагружения оболочки трубы через нерадикально поставленные парные продольные ребра, контактная задача решается совместно для радиальной и тангенциальной составляющих нагрузки. Определив контактную нагрузку, далее вычислялись перемещения поверхности оболочки и внутренние усилия. Для выявления сходимости решения, выбора необходимого количества точек коллокации, и соблюдения достаточной для инженерных расчетов точности были проведены численные исследования для "базисной" оболочки трубы ϕ 219 x 5 мм и длиной $l = 3,0$ м. Рассматривалось действие продольного момента M , приложенного к парным ребрам. При этом варьировалась длина ребер ($a/l = 1,1$ и $3,3$) и их взаимное расположение ($\varphi_1 = 0; \pi/4; \pi/3; \pi/2$). Контактная задача решалась методом коллокации, для чего на половине длины ребра a принималось 5 точек контакта, располагаемых с равными интервалами. Отметим, что при углах охвата трубы продольными ребрами $\varphi_1 = 0; \pi/4; \pi/3$ принимались условия совместности по радиальным перемещениям, а при $\varphi_1 = \pi/2$ — по тангенциальным. При действии на оболочку продольного момента через радиальное ребро число членов расчета производилось с удержанием до 500 членов ряда и до 7-ми точек коллокаций на длине полуребра. При решении контактной задачи для столбика, в отличие от решения для продольного ребра, сходимость тригонометрического ряда выше, что позволило определить параметры решения дифференциала, удерживая 50 членов ряда. После определения был вычислен внешний продольный момент $M = 42^2 \int_0^a k_1^2 \varphi_1^2 d\varphi_1$ (2). Внутренние склоновые факторы вычислялись по формулам технической моментной теории цилиндрических оболочек В.З. Власова [2]. Для просчитанных вариантов оболочки на действие момента в таблице I представлены результаты решения контактных задач, внешняя нагрузка и минимизированные значения внутренних усилий.

Как видно из таблицы с увеличением длины и углов охвата трубы продольными ребрами ее несущая способность значительно возрастает. Так, несущая способность оболочки с одинаковыми углами охвата и при перемещении концов ребер на толщину стенки трубы увеличивается для $a/l = 3,3$ по сравнению с $a/l = 1,1$ почти в два раза, а ее величина при $\varphi_1 = \pi/2$ по отношению к $\varphi_1 = 0$ возрастает в

среднем, до десяти раз. Изгибающие моменты кольцевого направления в 1,5 - 2 раза превосходят продольные. Приближенное расположение продольных ребер по касательной к поверхности оболочки, дает случай равенства мембранных и изгибных напряжений.

Таблица I

$\frac{D}{2r}$ рад	φ рад	$A_k \cdot 10^3$					M кН. м	M_k кН. м		T_k кН	
		A_0	A_1	A_2	A_3	A_4		M_1	M_2	T_1	T_2
1,1	0	44,3	-27,7	14,3	-10,5	13,6	42,68	0,42	0,57	-45,8	-29,7
	$\pi/4$	87,3	-54,8	28,3	-20,7	26,8	165,2	0,61	0,80	-57,5	-57,7
	$\pi/3$	125,2	-78,9	40,5	-29,8	38,3	230,1	0,61	0,80	-71,5	-72,6
	$\pi/2$	277,3	-178	91,1	-65,6	83,3	455,9	0,08	0,4	-51,1	-157
3,3	0	7,7	-2,79	1,25	-0,62	1,53	77,0	0,08	0,16	-28,7	-17,1
	$\pi/4$	9,65	-5,56	2,58	-1,32	3,09	300,0	0,11	0,23	-37,4	-41,0
	$\pi/3$	14,2	-8,55	3,96	-1,99	4,63	419,1	0,12	0,25	-41,7	-46,2
	$\pi/2$	36,6	-23,5	11,2	-6,02	12,4	700,6	0,05	0,09	-19,7	-74,8

В формировании напряженного состояния при углах обхвата трубы продольными ребрами $\varphi_1 \neq \pi/2$ основную роль играют изгибные напряжения.

Следует отметить, что самым невыгодным нагружением оболочки-трубы является передача нагрузки через радиальное продольное ребро ($\varphi_1 = 0$). Концентрация напряжений под концом ребра составляет порядка $K = (3 + 5)$. По мере увеличения угла обхвата коэффициенты концентраций уменьшаются и при диаметральной расположении парных элементов жесткости $K = 1,5 + 2$.

Все числовые расчеты производились на ЭВМ "Данри-К". На основе численного исследования и с помощью метода подобия разработан инженерная методика расчета рассматриваемых узлов, которая позволяет определить их несущую способность в практике проектирования. Результаты работы предназначаются для выполнения расчетов по определению несущей способности узлов с продольными ребрами и выбора их рациональной конструктивной формы. Они могут быть использованы научно-исследовательскими и проектными организациями при дальнейшим проектировании узлов и поверочных расчетах несущей способности трубчатых конструкций производственных сельскохозяйственных зданий и сооружений, а также в дипломном проектировании.

Литература

1. Соболев Д.В., Мурашко Н.Н. К расчету напряженно-деформированного состояния узлов трубчатых ферм. Изв. вуз. "Стр-во и арх.", в II, 1973
2. Власов В.З. Общие теории оболочек. Гостехиздат, М.-Л., 1949.