

**Расчет строительных конструкций**

**ПРОСТРАНСТВЕННАЯ СИСТЕМА ИЗ ДВУХ ОБОЛОЧЕК**

К.Ф. ШАГИВАЛЛЕЕВ, канд. техн. наук, доц.

Е.К. СУРНИНА, канд. техн. наук, доц.

С.В. ВАСИЛЬЦОВ, аспирант

Саратовский государственный технический университет им. Гагарина Ю.А.  
410054 г. Саратов, ул. Политехническая, 77; E-mail: Vasiltsov\_Sergei@mail.ru

Рассмотрена пространственная система, состоящая из двух замкнутых цилиндрических оболочек, соединенных одной промежуточной связью. Одна из оболочек нагружена нагрузкой, сосредоточенной в кольцевом направлении и равномерно распределенной вдоль образующей. Исследовано изменение величины реактивного давления в зависимости от места расположения промежуточной связи.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: пространственная система, оболочка, нагрузка, реактивное давление, перемещение, метод сил.

Работа посвящена одной из сложных проблем строительной механики – расчету пространственных систем, состоящих из связанных между собой замкнутых цилиндрических оболочек.

Рассмотрим пространственную систему, состоящую из двух замкнутых цилиндрических оболочек. Оболочки расположены на некотором расстоянии друг от друга и соединены одной промежуточной (жесткой) связью. Одна из оболочек находится под действием радиальной нагрузки  $p$ , сосредоточенной в кольцевом направлении и равномерно распределенной вдоль образующей (рис. 1).

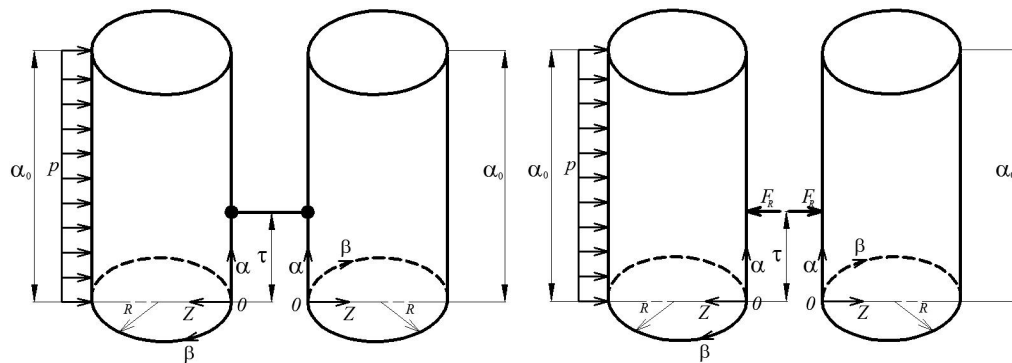


Рис. 1

Рис. 2

Для расчета пространственной системы применим метод сил. Основную систему выберем, разрезая горизонтальный стержень, заменяя его действием реактивной силой  $F_R$  (рис. 2). Реактивная сила  $F_R$  является неизвестной величиной. В рассматриваемом случае реактивная сила  $F_R$  представляет собой сосредоточенную нагрузку, возникающую в месте контакта оболочек. Таким образом, расчет искомой пространственной системы сводится к расчету отдельных замкнутых цилиндрических оболочек. На первую оболочку действуют радиальная нагрузка  $p$  и неизвестная реактивная сила  $F_R$ . На вторую оболочку действует только реактивная сила  $F_R$ .

Неизвестную реактивную силу  $F_R$  находим из условия сопряжения оболочек. В точке контакта оболочек радиальные перемещения оболочек равны.

В качестве примера произведен расчет пространственной системы, состоящей из двух замкнутых цилиндрических оболочек с одинаковыми геометриче-

скими параметрами: длина оболочек  $L = 30$  м, радиус  $R = 3$  м,  $\alpha_0 = L/R = 10$ , толщина стенки  $h = 0,16$  м, коэффициент Пуассона  $\nu = 0,2$ . Одна из оболочек нагружена радиальной нагрузкой, сосредоточенной в кольцевом направлении и равномерно распределенной вдоль образующей  $\beta = \pi$ . Оболочки по концам шарнирно закреплены и соединены между собой одной промежуточной опорой, расположенной на расстоянии  $\tau$ .

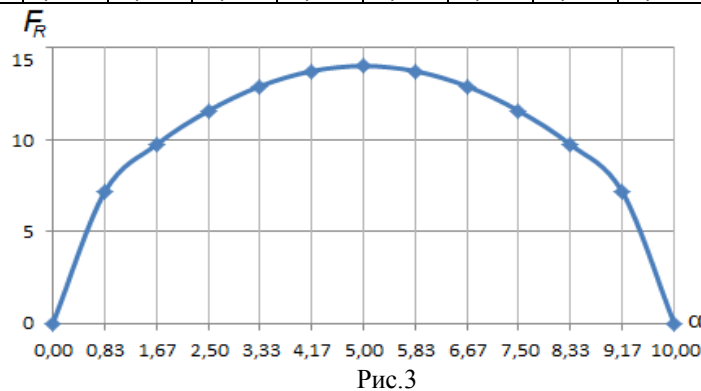
По формулам, приведенным в работе [1], были определены в точке контакта оболочек радиальные перемещения в первой и второй оболочках. При определении радиальных перемещений в оболочках от действия радиальной нагрузки  $p$  и неизвестной реактивной силы  $F_R$  нагрузки раскладывались в тригонометрические ряды по переменной  $\beta$  и удерживалось 300 членов тригонометрического ряда. Из условия, что в точке контакта оболочек радиальные перемещения оболочек равны, была определена неизвестная реактивная сила  $F_R$ .

Расчеты пространственной системы были выполнены при разных координатах расположения промежуточной связи ( $\tau = \alpha_0/12 \dots \tau = 11\alpha_0/12$ ) (11 точек).

Результаты расчета приведены в табл. 1 и на рис. 3.

Таблица 1

$\tau$	$\alpha_0/12$	$2\alpha_0/12$	$3\alpha_0/12$	$4\alpha_0/12$	$5\alpha_0/12$	$6\alpha_0/12$	$7\alpha_0/12$	$8\alpha_0/12$	$9\alpha_0/12$	$10\alpha_0/12$	$11\alpha_0/12$
$F_R$	7,1500	9,7295	11,5680	12,9097	13,7353	14,0146	13,7353	12,9097	11,5680	9,7295	7,1500



Все значения, приведенные в табл. 1 и на рис. 3, необходимо умножить на  $-F/ph$ . Зная  $F_R$ , можно, используя выражения, приведенные в работе [1], определить напряженно деформируемое состояние в каждой оболочке.

Было проведено исследование, как изменяется величина реактивного давления  $F_R$  в зависимости от изменения геометрических параметров оболочек.

В табл. 2 приведены результаты расчета пространственной системы при следующих параметрах оболочек: длина оболочек  $L = 30$  м, радиус  $R = 6$  м,  $\alpha_0 = L/R = 5$ , толщина стенки  $h = 0,24$  м, коэффициент Пуассона  $\nu = 0,2$ . Одна из оболочек нагружена радиальной нагрузкой, сосредоточенной в кольцевом направлении и равномерно распределенной вдоль образующей  $\beta = \pi$ .

Таблица 2

$\tau$	$\alpha_0/12$	$2\alpha_0/12$	$3\alpha_0/12$	$4\alpha_0/12$	$5\alpha_0/12$	$6\alpha_0/12$	$7\alpha_0/12$	$8\alpha_0/12$	$9\alpha_0/12$	$10\alpha_0/12$	$11\alpha_0/12$
$F_R$	0,8817	1,1450	1,3117	1,4072	1,4517	1,4637	1,4517	1,4072	1,3120	1,1450	0,8817

Так же рассмотрена пространственная система, состоящая из двух замкнутых цилиндрических оболочек с различными геометрическими параметрами (рис. 4). Параметры первой оболочки: длина оболочек  $L = 30$  м, радиус  $R_1 = 3$  м,  $\alpha_0 = L/R_1 = 10$ , толщина стенки  $h_1 = 0,16$  м, коэффициент Пуассона  $\nu = 0,2$ . Параметры второй оболочки: длина оболочек  $L = 30$  м, радиус  $R_2 = 6$  м,  $\alpha_0 = L/R_2 = 5$ ,

толщина стенки  $h_2 = 0,24$  м, коэффициент Пуассона  $\nu = 0,2$ . Оболочка радиусом  $R_1 = 3$  м нагружена радиальной нагрузкой, сосредоточенной в кольцевом направлении и равномерно распределенной вдоль образующей  $\beta = \pi$ . Результаты расчета приведены в табл. 3.

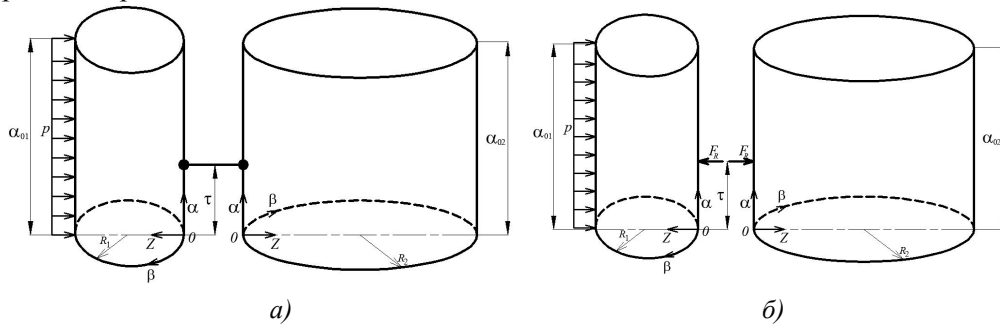


Рис. 4

Таблица 3

$\tau$	$\alpha_0/12$	$2\alpha_0/12$	$3\alpha_0/12$	$4\alpha_0/12$	$5\alpha_0/12$	$6\alpha_0/12$	$7\alpha_0/12$	$8\alpha_0/12$	$9\alpha_0/12$	$10\alpha_0/12$	$11\alpha_0/12$
$F_R$	7,3539	10,2316	12,3182	13,8344	14,7518	15,0566	14,7518	13,8344	12,3207	10,2316	7,3539

В качестве следующего примера рассмотрена пространственная система, состоящая из двух замкнутых цилиндрических оболочек, имеющих такие параметры (рис. 5): параметры первой оболочки: длина оболочек  $L = 30$  м, радиус  $R_1 = 6$  м,  $\alpha_0 = L/R_1 = 5$ , толщина стенки  $h_1 = 0,24$  м, коэффициент Пуассона  $\nu = 0,2$ . Параметры второй оболочки: длина оболочек  $L = 30$  м, радиус  $R_2 = 3$  м,  $\alpha_0 = L/R_2 = 10$ , толщина стенки  $h_2 = 0,16$  м, коэффициент Пуассона  $\nu = 0,2$ . Оболочка радиусом  $R_2 = 6$  м нагружена радиальной нагрузкой, сосредоточенной в кольцевом направлении и равномерно распределенной вдоль образующей  $\beta = \pi$ .

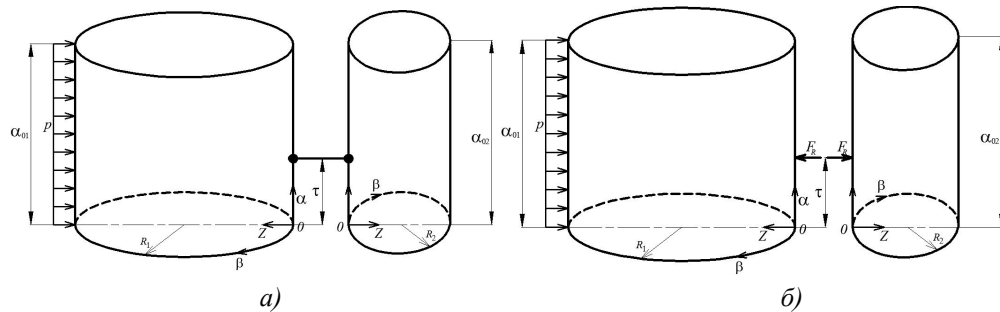


Рис. 5

Результаты расчета приведены в табл. 4.

Таблица 4

$\tau$	$\alpha_0/12$	$2\alpha_0/12$	$3\alpha_0/12$	$4\alpha_0/12$	$5\alpha_0/12$	$6\alpha_0/12$	$7\alpha_0/12$	$8\alpha_0/12$	$9\alpha_0/12$	$10\alpha_0/12$	$11\alpha_0/12$
$F_R$	0,8572	1,0888	1,2319	1,3131	1,3516	1,3624	1,3516	1,3131	1,2319	1,0888	0,8572

Была рассмотрена пространственная система при следующих параметрах оболочек (рис. 6):

1) Параметры первой оболочки: длина оболочек  $L = 30$  м, радиус  $R_1 = 3$  м,  $\alpha_0 = L/R_1 = 10$ , толщина стенки  $h_1 = 0,16$  м, коэффициент Пуассона  $\nu = 0,2$ . Жесткость второй оболочки равна бесконечности.

2) Параметры первой оболочки: длина оболочек  $L = 30$  м, радиус  $R_1 = 6$  м,  $\alpha_0 = L/R_1 = 5$ , толщина стенки  $h_1 = 0,24$  м, коэффициент Пуассона  $\nu = 0,2$ . Жесткость второй оболочки равна бесконечности.

В табл. 5 приведены результаты расчета пространственной системы для первого варианта исходных данных, в таблице 6 – для второго варианта исходных данных.

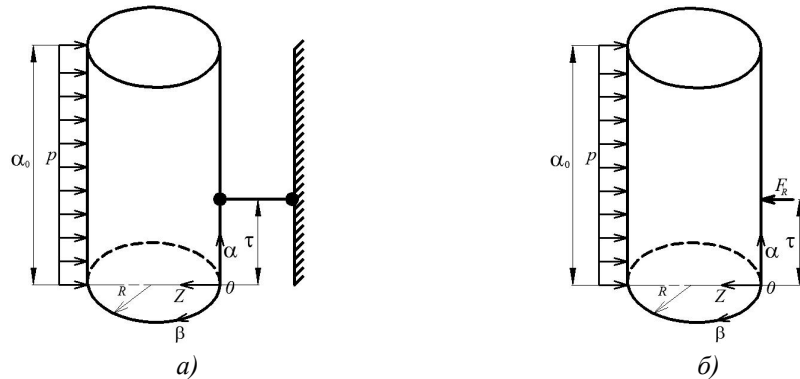


Рис. 6

Таблица 5

$\tau$	$\alpha_0/12$	$2\alpha_0/12$	$3\alpha_0/12$	$4\alpha_0/12$	$5\alpha_0/12$	$6\alpha_0/12$	$7\alpha_0/12$	$8\alpha_0/12$	$9\alpha_0/12$	$10\alpha_0/12$	$11\alpha_0/12$
$F_R$	0,0235	0,0121	0,0084	0,0068	0,0060	0,0058	0,0060	0,0068	0,0084	0,0121	0,0235

Таблица 6

$\tau$	$\alpha_0/12$	$2\alpha_0/12$	$3\alpha_0/12$	$4\alpha_0/12$	$5\alpha_0/12$	$6\alpha_0/12$	$7\alpha_0/12$	$8\alpha_0/12$	$9\alpha_0/12$	$10\alpha_0/12$	$11\alpha_0/12$
$F_R$	0,7852	0,4327	0,3170	0,2669	0,2450	0,2388	0,2450	0,2669	0,3170	0,4327	0,7852

В работе был проведен анализ и установлено, что при определении радиального перемещения при действии сосредоточенной нагрузки, достаточно в тригонометрическом ряду удерживать 100 членов ряда, а при действии радиальной нагрузки, сосредоточенной в кольцевом направлении и равномерно распределенной вдоль образующей, достаточно в тригонометрическом ряду удерживать 50 членов ряда. На основе данных таблиц 1-6 можно проследить, как изменяется реактивное давление в зависимости от места расположения опоры и от изменения геометрических параметров оболочек. Используя предлагаемый подход и решения, приведенные в работах [1-3], можно рассчитать пространственную систему из любого количества оболочек при различных геометрических параметрах оболочек, при действии различных радиальных нагрузок, при любом расположении промежуточной связи и вообще при любом количестве связей.

Результаты работы могут быть использованы инженерами-проектировщиками, научными работниками, аспирантами и студентами.

#### Л и т е р а т у р а

1. Шагивалеев К.Ф. Расчет замкнутой цилиндрической оболочки на локальные и сосредоточенные нагрузки / К. Ф. Шагивалеев. Саратов:– СГТУ, 2011. 316 с.
2. Шагивалеев К.Ф. Расчет на прочность замкнутой цилиндрической оболочки / К. Ф. Шагивалеев. Саратов:– Изд-во Саратов. ун-та, 1991. 208 с.
3. Шагивалеев К.Ф. Расчет замкнутой цилиндрической оболочки по приближенной теории / К. Ф. Шагивалеев. Саратов:– Саратов. гос. техн. ун-т, 2001. 164 с.

#### References

1. Shagivaleev, KF (2011). Calculation of the Closed Cylindrical Shell on the Local and Concentrated Loadings. Saratov: SGTU, 316 p.
2. Shagivaleev, KF (1991). Calculation on Durability of the Closed Cylindrical Shell. Saratov: Publishing house of SGTU, 208 p.
3. Shagivaleev, KF (2001). Calculation of the Closed Cylindrical Shell with Using of Approximate Theory. Saratov: SGTU, 164 p.

### SPATIAL SYSTEM FROM TWO SHELLS

K.F. Shagivaleev, E.K. Surmina, C.B. Vasil'tzov  
*The Saratov state technical university of Gagarin Yu.A.*

The spatial system consisting of two closed cylindrical covers, connected by one intermediate communication is considered. One of covers is loaded with the loading which concentrated in the ring direction and has been evenly distributed along the forming. Change of size of jet pressure depending on the location of intermediate communication is investigated.

**Keywords:** spatial system, cylindrical shell, loading, communication, jet pressure, displacement, method of forces.

