

## Расчет строительных конструкций

### СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДА РАСЧЕТА ПРОСТРАНСТВЕННЫХ СИСТЕМ, СОСТОЯЩИХ ИЗ СВЯЗАННЫХ МЕЖДУ СОБОЙ ЗАМКНУТЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ОБОЛОЧЕК

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

С.Н. БУРОВ, аспирант

Саратовский государственный технический университет

410076, Саратов, 4-й Чернышевский проезд, д. 8 кв. 26, [KFSHAG@yandex.ru](mailto:KFSHAG@yandex.ru)

410031, Саратов, ул. Челюскинцев, д.173, кв. 17, [burov-85@mail.ru](mailto:burov-85@mail.ru)

Предложен способ оптимизации расчета сочлененных замкнутых цилиндрических оболочек. Сущность метода изложена на примере тонкостенной пространственной системы, состоящей из двух замкнутых цилиндрических оболочек, одна из которых нагружена внутренним равномерно распределенным давлением.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: оболочка, пространственная система, линия контакта, реактивное давление, сопряжение, перемещение.

Оболочечные конструкции сочетают в себе легкость с высокой прочностью и поэтому находят широкое применение во многих отраслях промышленности, например в судо- и авиастроении, ракетной технике, строительстве. Большое применение имеют тонкостенные пространственные системы, состоящие из ряда связанных между собой замкнутых цилиндрических оболочек.

В работе [1] для расчета тонкостенных пространственных систем, состоящих из ряда связанных между собой замкнутых цилиндрических оболочек, предложен способ расчета, основанный на одном из известных методов строительной механики – методе сил. Линия контакта

оболочки разбивалась на участки равной длины.

В настоящей работе предложен несколько иной подход. Предлагаемый метод расчета рассмотрен на примере пространственной системы, состоящей из двух сочлененных замкнутых цилиндрических оболочек, имеющих по концам шарнирные закрепления. Одна из оболочек нагружена внутренним равномерно распределенным давлением  $q_0$  (рис. 1). Параметры оболочек:

$$L=30 \text{ м, } h=0,16 \text{ м, } R=3 \text{ м, } \alpha_0=L/R=10.$$

Вначале определяем характер распределения реактивного давления вдоль линии контакта оболочек

по работе [1] при небольшом количестве разбиений ( $n=8$ ). Результаты показаны на рис. 2.

Затем для уточнения максимальной величины и характера распределения реактивного давления разобьем линию контакта на участки неравной длины: более часто к концам оболочки (в области максимальных значений реактивного давления: от края линии контакта до  $\alpha_0/8$ ), и реже к середине оболочек (рис. 3,4). Будем считать, что реактивное давление, возникающее по линии контакта оболочек равномерно распределено в пределах сколь угодно малых участков, и кроме того, условимся в дальнейшем иметь дело не с интенсивностью давления

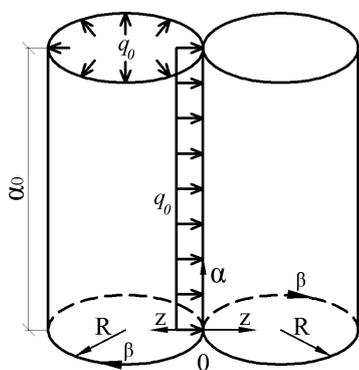


Рис. 1

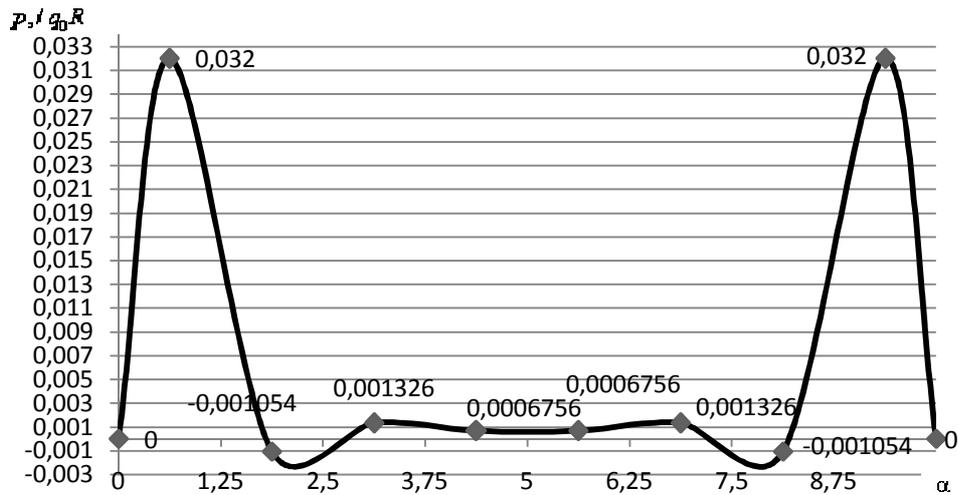


Рис. 2. График распределения реактивного давления по линии контакта оболочек при количестве разбиений  $n=8$

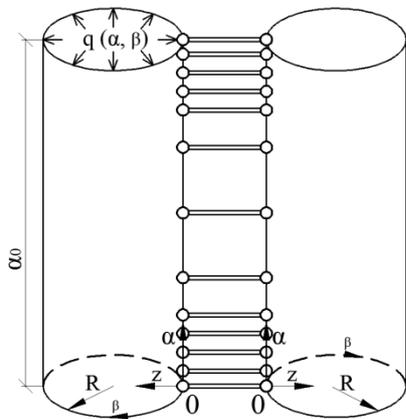


Рис. 3

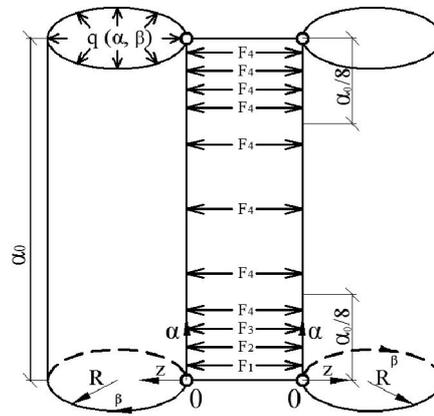


Рис. 4

в каждом участке, а с равнодействующей давления, приходящейся на этот участок. Связь между оболочками осуществляется только в отдельных точках, находящихся в серединах прямолинейных участков. Расчетная схема будет такой как показана на рис. 4. Условные опоры представлены в виде абсолютно твердых стержней-связей, присоединенных шарнирно к первой и второй оболочкам. Основную систему выберем, разрезая или удаляя все горизонтальные стержни, заменяя их действие действием неизвестных реактивных сил  $F_1, F_2, F_3, \dots, F_n$  (рис. 4).

Линию контакта оболочек разобьем на  $n=16, 32, 87$  и  $122$  участков, причем длина участка в предполагаемых зонах максимальных значений реактивного давления (рис. 4) равна  $l = \frac{\alpha_0}{32}, \frac{\alpha_0}{64}, \frac{\alpha_0}{256}, \frac{\alpha_0}{384}$  соответственно.

В рассматриваемом случае на первую оболочку действуют радиальная нагрузка  $q(\alpha, \beta)$  и реактивные давления  $F_n$ , возникающие в местах контакта оболочек. На вторую оболочку действуют только реактивные давления  $F_n$ . Неизвестные реактивные давления  $F_n$  находим из условий сопряжения оболочек. В точках контакта оболочек радиальные перемещения оболочек равны.

Найдя неизвестные реактивные силы  $F_n$  (рис.4), действующие в серединах участков, нетрудно найти интенсивность давления в пределах каждого участка и построить эпюру распределения давления. Для нахождения неизвестных реактивных сил  $F_n$  будем иметь канонические уравнения обычного вида:

$$\begin{aligned}
 F_1\delta_{11} + F_2\delta_{12} + F_3\delta_{13} + F_4\delta_{14} + F_5\delta_{15} + F_6\delta_{16} + \dots + F_n\delta_{1n} + \Delta_1 &= 0; \\
 F_1\delta_{21} + F_2\delta_{22} + F_3\delta_{23} + F_4\delta_{24} + F_5\delta_{25} + F_6\delta_{26} + \dots + F_n\delta_{2n} + \Delta_2 &= 0; \\
 F_1\delta_{31} + F_2\delta_{32} + F_3\delta_{33} + F_4\delta_{34} + F_5\delta_{35} + F_6\delta_{36} + \dots + F_n\delta_{3n} + \Delta_3 &= 0; \\
 F_1\delta_{41} + F_2\delta_{42} + F_3\delta_{43} + F_4\delta_{44} + F_5\delta_{45} + F_6\delta_{46} + \dots + F_n\delta_{4n} + \Delta_4 &= 0; \\
 F_1\delta_{51} + F_2\delta_{52} + F_3\delta_{53} + F_4\delta_{54} + F_5\delta_{55} + F_6\delta_{56} + \dots + F_n\delta_{5n} + \Delta_5 &= 0; \\
 \dots & \\
 F_1\delta_{m1} + F_2\delta_{m2} + F_3\delta_{m3} + F_4\delta_{m4} + F_5\delta_{m5} + F_6\delta_{m6} + \dots + F_n\delta_{mn} + \Delta_m &= 0,
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

где  $\delta_{mn} = (\delta'_{mn} + \delta''_{mn})$  - перемещения стенок оболочек по линии контакта от реактивного давления;  $\delta'_{mn}$  - перемещения стенки первой оболочки от реактивного давления;  $\delta''_{mn}$  - перемещения стенки второй оболочки от реактивного давления;  $\Delta_m$  - перемещения стенки первой оболочки от внешней нагрузки

Значения перемещений  $\delta_{mn}$  стенки замкнутой цилиндрической оболочки в любой точке оболочки под действием сосредоточенной силы можно найти по аналитическим выражениям, полученными в статье К. Ф. Шагивалеева [2].

Перемещения стенки оболочки от внешней нагрузки  $\Delta_n$ , в зависимости от вида действия, можно определить по работам К. Ф. Шагивалеева [3,4].

Решив систему уравнений (1) для каждого рассматриваемого случая найдем значения неизвестных реактивных сил  $F_n$ , а по ним можно найти и интенсивность давления в пределах каждого участка. Графики распределения реактивного давления приведены на рис. 5.

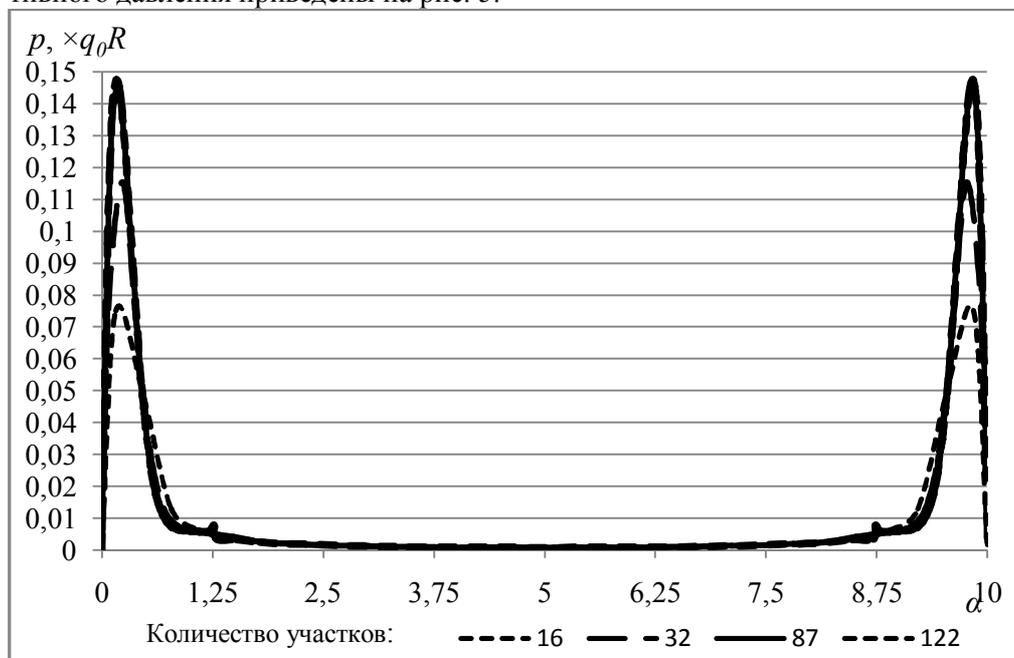


Рис. 5. Графики распределения реактивного давления по линии контакта оболочек, одна из которых загружена внутренним равномерно распределенным давлением

Было произведено сравнение результатов с результатами, полученными при расчете данной пространственной системы в случае, когда линия контакта оболочек делилась на участки равной длины [1]. На рис.6 приведены графики распределения реактивного давления по линии контакта оболочек для обоих способов расчета. Из рисунка видно, что результаты практически совпадают.

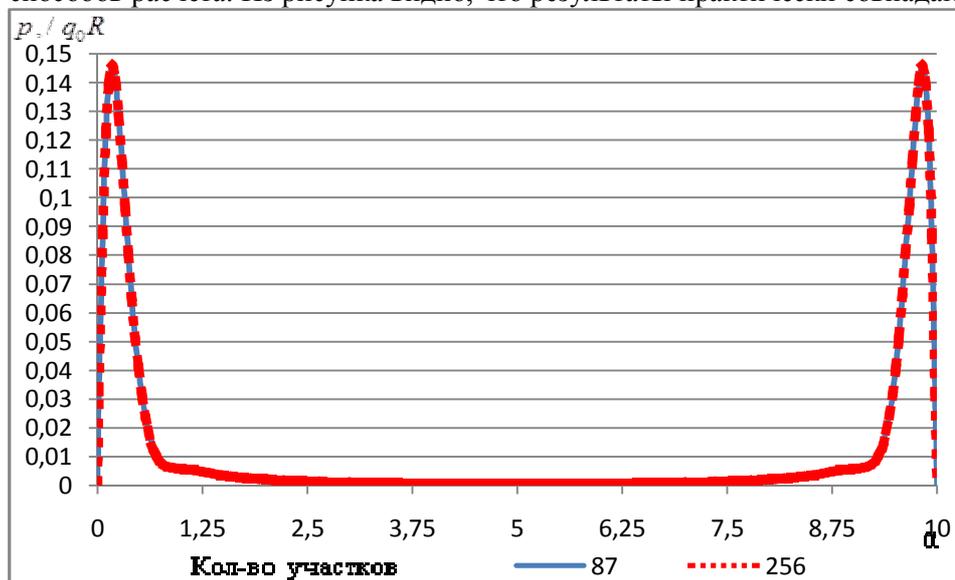


Рис. 6. Графики распределения реактивного давления по линии контакта оболочек, одна из которых загружена внутренним равномерно распределенным давлением, при делении линии контакта на различное количество участков

На рис. 7 приведены диаграммы максимальных значений реактивного давления в зависимости от количества участков, на которые разбивается линия контакта оболочек при расчете для обоих способов расчета. Установлено что достаточная точность расчета зависит не только от количества разбиений, но и от длины участка в зоне максимальных значений реактивного давления. Так из рис. 6 видно, что в данном случае достаточно ограничиться разбиением на 87 участков с длиной участка в зоне наиболее частого разбиения равной  $l = \alpha_0 / 256$

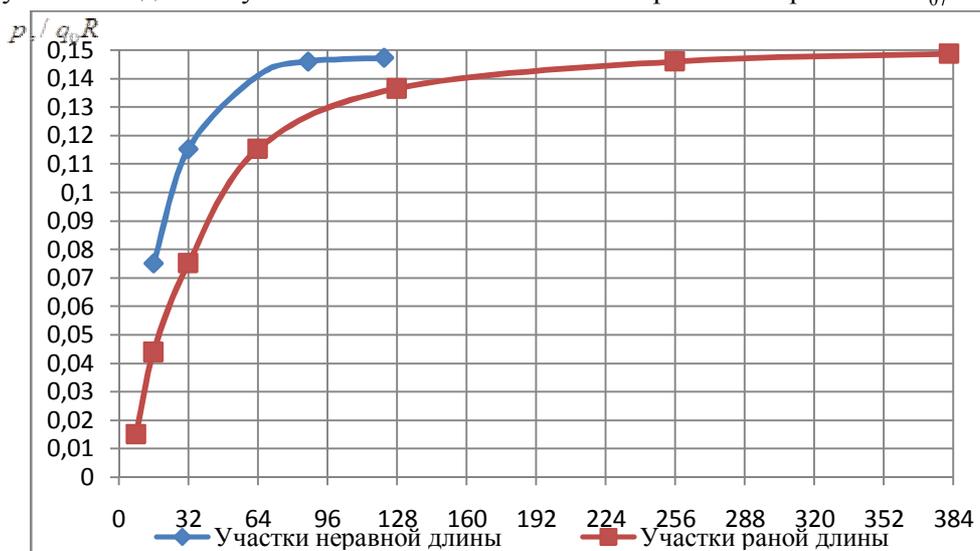


Рис. 7

Из сравнения результатов следует, что при расчете способом, описанным в данной работе, можно ограничиться меньшим количеством разбиений линии контакта оболочек, а следовательно и меньшим количеством уравнений в системе (1). Это существенно сокращает объем вычислительной работы, как при определении реактивного давления, так и в дальнейшем при определении напряженного деформированного состояния оболочек.

#### Л и т е р а т у р а

1. Шагивалеев К. Ф., Буров С. Н. Расчет тонкостенных пространственных систем, состоящих из связанных между собой замкнутых цилиндрических оболочек, методом сил /Шагивалеев К. Ф., Буров С. Н.// Строительная механика инженерных конструкций и сооружений.–2011.–№1. –С. 8-12.

2. Шагивалеев К. Ф. Расчет замкнутой цилиндрической оболочки на сосредоточенные нагрузки / К. Ф. Шагивалеев // Вестник Саратовского государственного технического университета.– 2007. –№1, вып. 1. – С. 36-42.

3. Шагивалеев К. Ф. Расчет на прочность замкнутой цилиндрической оболочки / К. Ф. Шагивалеев. – Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 1991. – 208 с.

4. Шагивалеев К. Ф. Расчет замкнутой цилиндрической оболочки по приближенной теории / К.Ф. Шагивалеев; Саратов. гос. техн. ун-т. – Саратов: СГТУ, 2001. – 164 с.

#### THE PERFECTION OF AN ANALYSIS METHOD OF SPATIAL SYSTEMS CONSISTING OF BOUND CLOSED CYLINDRICAL SHELLS

K.F. Shagivaleev, S.N. Burov

*The way of optimization of calculation of the jointed closed cylindrical covers is offered. The essence of a method is stated on an example of the thin-walled spatial system, consisting of two closed barrel shells, one of which is subjected to internal pressure.*

KEYWORDS: shell, spatial system, contact line, loading, reaction pressure, mating

