

Ю. Л. ТАРАСОВ

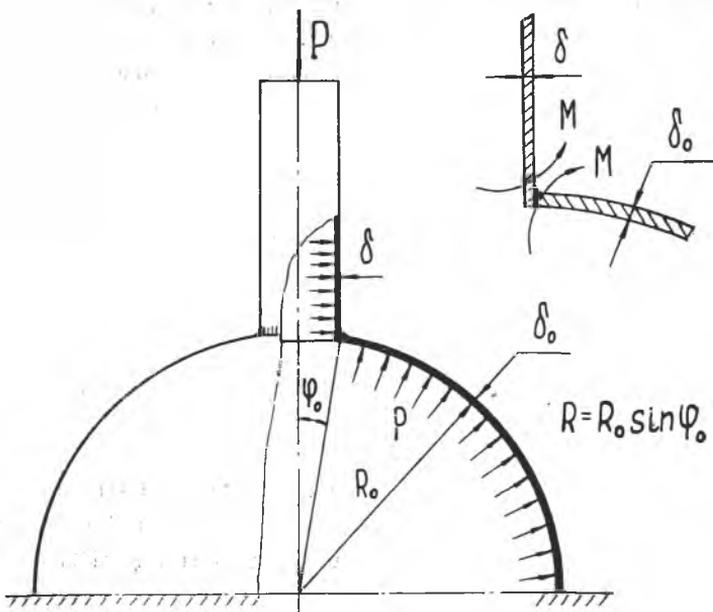
### НЕКОТОРЫЕ КОНСТРУКТИВНЫЕ СПОСОБЫ СНИЖЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЙ В СОЧЛЕНЕНИЯХ СФЕРИЧЕСКИХ ОБОЛОЧЕК С ЦИЛИНДРИЧЕСКИМИ

В статье [3]\* рассмотрен вопрос об определении напряжений в сочленениях трубопроводов со сферическими днищами баков. Решение задачи в этой статье было проведено на основе уравнений осесимметричного изгиба цилиндрических и сферических оболочек. Для определения величины изгибающего момента в сочленении при нагружении свободного торца трубки силой  $P$ , а также в случае, когда система подвержена действию избыточного давления  $p$  (фиг. 1), получены формулы (33) и (43).

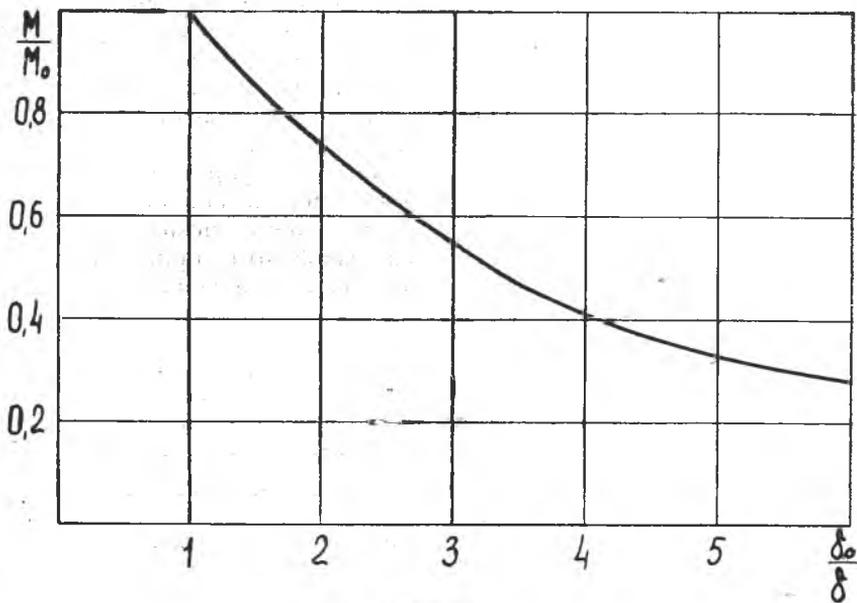
Исследования, проведенные с помощью формулы (33) показывают, что при увеличении толщины сферической оболочки происходит существенное снижение изгибающего момента в сочленении. Этот вывод подтверждается графиком, приведенным на фиг. 2. Через  $M_0$  на этом графике обозначена величина момента в сочленении при  $\frac{\delta_0}{\delta} = 1$ .

Следует отметить, что при увеличении толщины сферической оболочки соединение оказывается неравнопрочным, так как максимальные напряжения в сферической оболочке уменьшаются значительно быстрее, чем в цилиндрической оболочке — патрубке. Например, при  $\frac{\delta_0}{\delta} = 2$  напряжения в патрубке падают на 30% по сравнению с их значениями для  $\frac{\delta_0}{\delta} = 1$ , максимальные же

\* В настоящей статье приняты те же обозначения, что и в [3].



Фиг. 1.



Фиг. 2.

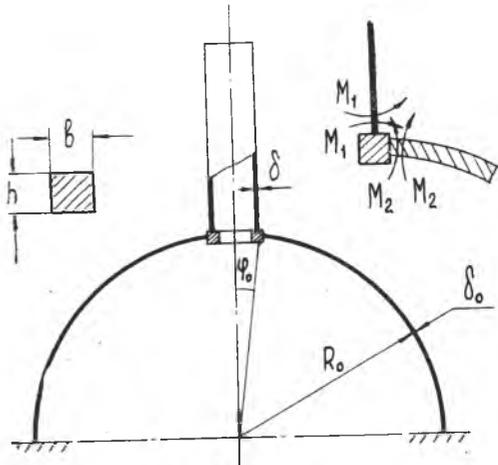
напряжения в сферической оболочке уменьшаются при этом в 5,5 раза.

В настоящей статье рассматривается ряд конструктивных мероприятий, обеспечивающих выравнивание максимальных напряжений в патрубке и в сферической оболочке.

Выравнивания или снижения напряжений можно достигнуть, например, если патрубок присоединить к сферической оболочке через упругое кольцо (фиг. 3). При рассмотрении кольца полагается, что размеры его поперечного сечения малы по сравнению с радиусом  $R$  осевой линии [1], т. е.:

$$R + \frac{b}{2} \ll 1,5 \left( R - \frac{b}{2} \right).$$

Из решения задачи методом сил для изгибающих моментов, действующих со стороны кольца на патрубок и сферическую оболочку получены следующие приближенные формулы:



Фиг. 3.

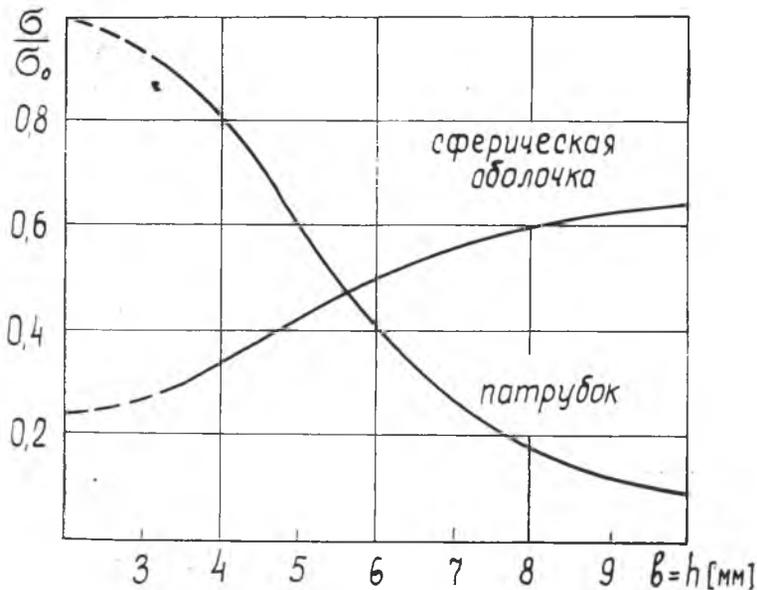
$$M_1 = \frac{\alpha_0 P}{\alpha_1 \left( 1 + \frac{E_1 I_z}{E R^2 \delta^2} \gamma_1 \right) + \left( \frac{\delta_0}{\delta} \right)^2 \frac{E_0}{E} \gamma_1}, \quad (1)$$

$$M_2 = M_1 \left( 1 + \frac{E_1 I_z}{E R^2 \delta^2} \gamma_1 \right). \quad (2)$$

Здесь через  $E_1 I_z$  обозначена изгибная жесткость кольца.

Наглядное представление о влиянии кольца на максимальные напряжения в патрубке и сферической оболочке можно получить из графиков на фиг. 4. Эти графики построены по результатам расчета системы с параметрами  $\frac{E_0 \delta_0}{E \delta} = 2$ ,  $\frac{R}{\delta} = 13,3$ ,  $\frac{R_0}{\delta_0} = 200$  при  $R = 20$  мм.

На фиг. 4 через  $\sigma_0$  обозначены максимальные напряжения в патрубке, соединенном со сферической оболочкой непосредственно без кольца. Из графиков видно, что с ростом жесткости кольца максимальные напряжения в сферической оболочке увеличиваются незначительно, а напряжения в трубопроводе резко падают. Если принять размеры кольца равными  $b = h = 5,7$  мм, то напряжения в патрубке и сферической оболочке оказываются



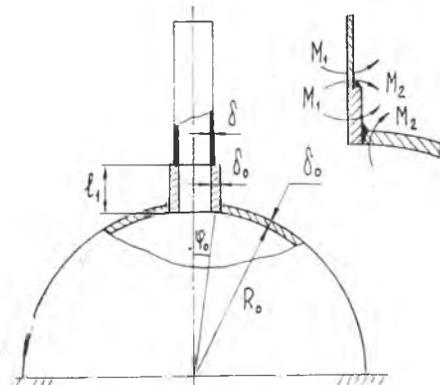
Фиг. 4.

одинаковыми и составляют около 47% от максимальных напряжений, возникающих в системе без кольца.

На фиг. 5 показана конструкция, в которой патрубок соединяется со сферической оболочкой через переходной утолщенный участок. Проведенные расчеты показали, что для значительного снижения изгибных напряжений в патрубке длина переходного участка может быть и не очень большой. В том случае, когда  $l_1/R \geq 0,5$  [4] изгибающий момент  $M_1$  у торца трубки практически равен нулю. Величину же

момента  $M_2$  можно определить по формулам (33) и (43) статьи [3], если вместо  $\delta$  подставить  $\delta_1$ . При  $\frac{\delta_0}{\delta_1} = 1$  максимальные напряжения в пластине и переходном участке получаются одинаковыми.

В конструкции, показанной на фиг. 6, изгибающий момент, передающийся со стороны сферической оболочки на патрубок, распределяется между ее длинным ( $M_1$ ) и ко-



Фиг. 5.

ротким ( $M_2$ ) участками. Исследования показали, что при  $l_1/R \geq 0,5$  имеют место следующие зависимости:

а) при действии сил  $P$ :

$$M = P \frac{\alpha_0 - \frac{E_0 \delta_0^2}{E \delta^2} \omega_3 - \left( \beta_0 + \frac{\mu}{4\pi} \frac{E_0 \delta_0}{E \delta} \right) \frac{\alpha_2}{\beta_2 + \frac{E_0}{E} \frac{\omega_2}{4}}}{\alpha_1 + \frac{E_0 \delta_0^2}{E \delta^2} \frac{\gamma_1}{4} - \frac{\alpha_2^2}{\beta_2 + \frac{E_0}{E} \frac{\omega_2}{4}}}, \quad (3)$$

где

$$\omega_3 = \frac{\mu x}{4\pi} \frac{R}{\delta}.$$

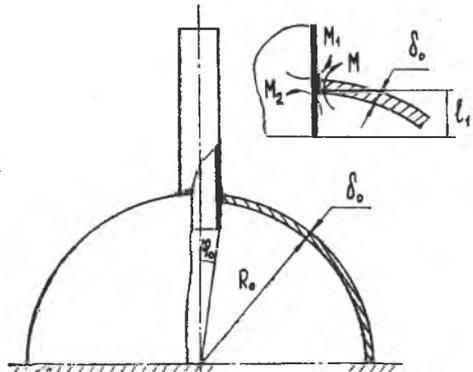
б) при действии избыточного давления  $p$ :

$$M = -pR^2 \frac{\pi \alpha_0 + \left[ \left( 1 - \frac{\mu}{2} \right) \frac{E_0 \delta_0}{E \delta} - \left( \pi \beta_0 + \frac{1 - \mu}{2 \sin \varphi_0} \right) \right] \frac{\alpha_2}{\beta_2 + \frac{E_0}{E} \frac{\omega_2}{4}}}{\alpha_1 + \frac{E_0 \delta_0^2}{E \delta^2} \frac{\alpha_1}{4} - \frac{\alpha_2^2}{\beta_2 + \frac{E_0}{E} \frac{\omega_2}{4}}}. \quad (7)$$

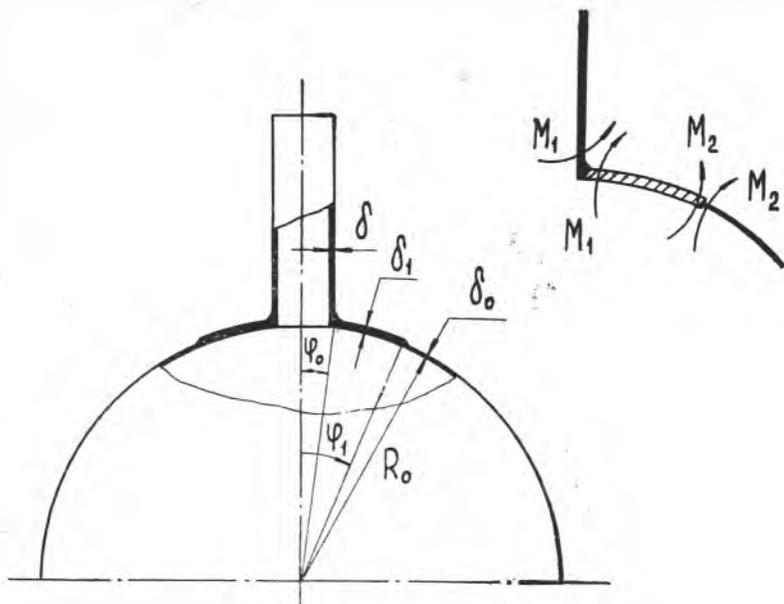
По мере уменьшения длины короткого участка величина момента  $M_1$  растет, а  $M_2$  — падает.

Заметим, что увеличение толщины сферической оболочки хотя и снижает изгибные напряжения в патрубке, но не всегда может быть оправдано, так как это связано с ростом веса изделия. Исследования показали, что уменьшения изгибных напряжений можно добиться путем местного усиления сферической оболочки (фиг. 7). Если выполняется условие  $\varphi_1 - \varphi_0 \geq 2 \sqrt{\delta_0/R_0}$ , [2], то изгибающий момент в сочленении патрубка со сферической оболочкой можно определять по упомянутым уже формулам (33) и (43) [3], положив в них  $\delta_1$  вместо  $\delta_0$ .

В заключение отметим, что для окончательной проверки эффективности конструктивных мероприятий, разработанных с целью снижения уровня изгибных напряжений в сочленениях патрубков с тонкостенными корпусными элементами и повышения усталостной прочности, проводились усталостные испытания. Испытания про-



Фиг. 6.



Фиг. 7.

водились на образцах, где патрубки приваривались непосредственно к круглым пластинам различной толщины или к пластинам, усиленным кольцевой накладкой. Результаты испытаний показывают, что конструктивные мероприятия, обеспечивающие снижение изгибных напряжений в сочленениях патрубков с тонкостенными элементами при статических нагрузках, повышают усталостную прочность конструкций.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. С. П. Тимошенко. Сопроотивление материалов, ч. II, Гостехтеоретиздат, 1933.
2. З. Б. Канторович. Основы расчета химических машин и аппаратов, Машгиз, 1960.
3. Ю. Л. Тарасов. Определение напряжений в сочленении трубопровода со сферическим днищем бака (помещена в настоящем сборнике).
4. Ю. Л. Тарасов. О некоторых конструктивных мероприятиях по обеспечению равнопрочности сочленений трубок с тонкостенными корпусными элементами, Труды КуАИ, вып. XX, ч. II, 1965.