

УДК 622.245.12

Улитин Г.М., Царенко С.Н. (ДонНТУ)

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ОБСАДНОЙ КОЛОННЫ ПРИ СПУСКЕ НА ПЛАВУ

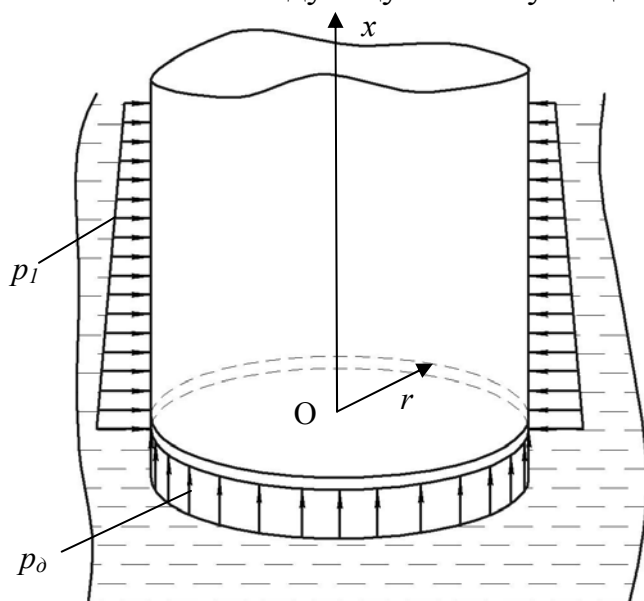
(Сборник трудов ДонНТУ)

Проведены исследования напряженно-деформированного состояния обсадной колонны с дном во время ее спуска на плаву. Выполнен анализ определения приведенной толщины дна.

Для улучшения вентиляции и доставки материалов в шахты, бурят технические скважины диаметром от 2 до 5 м, глубина которых достигает 800 м. При бурении скважин большого диаметра, как правило, грузоподъемность буровой установки выбирают по массе обсадной колонны, которую предстоит опускать в скважину.

Если масса колонны превышает грузоподъемность буровой установки, то применяют три специальных способа спуска колонны: на воздушной подушке, на плаву, секциями.

В последнее время наиболее распространен спуск колонн секциями, но он сопряжен со значительным увеличением времени крепления скважин, причем не исключаются случаи не плотной стыковки секций, что осложняет тампонаж и последующую эксплуатацию скважин.



Спуск колонн на воздушной подушке лишен недостатков предыдущего способа, но связан с усложнением технологии спуска и необходимостью применения специальных приспособлений.

Спуск колонны на плаву является наиболее простым и эффективным способом, он

Рис. 1 – Расчетная модель обсадной колонны при ее спуске на плаву.

ограничен допустимым внешним давлением на колонну.

Таким образом для снижения затрат и уменьшения времени крепления скважины следует обеспечить необходимую прочность обсадной трубы.

В качестве расчетной модели при спуске обсадной колонны на плаву (рис. 1) рассмотрим полубесконечную цилиндрическую оболочку, погруженную в жидкость и подкрепленную продольными (стрингерами), кольцевыми (шпангоуты) ребрами с упругим днищем радиуса R , и толщиной h_0 . Оболочка имеет следующие параметры: толщина стенки h , f_c , t_c – площадь сечения и шаг между стрингерами, f_u , t_u – площадь сечения и шаг между шпангоутами. На цилиндрическую поверхность оболочки действует внешняя нагрузка $p_1 = -\rho g(H - x)$ соответствующая давлению жидкости, а на днище – давление $p_0 = \rho gH$.

Колонну будем считать конструктивно анизотропной оболочкой, которая находится в осесимметричном напряженно-деформированном состоянии, при этом она при растяжении и изгибе в продольном и поперечном направлениях имеет один и тот же модуль упругости. Толщина оболочки, которую будем считать приведенной, при растяжении в кольцевом и меридиональном направлениях будет вычисляться по формулам [1]:

$$h_u = h + \frac{f_u}{t_u}, \quad h_c = h + \frac{f_c}{t_c}.$$

Подсчитав моменты инерции элементов сечения оболочки относительно центра тяжести можно найти приведенные толщины при изгибе:

$$\delta_u = \sqrt[3]{\frac{12J_u}{t_u}}, \quad \delta_c = \sqrt[3]{\frac{12J_c}{t_c}}$$

Уравнение осесимметричной деформации оболочки будет иметь вид [1]

$$E \frac{\delta_c^3}{12} \frac{d^4 w}{dx^4} + T_1 \frac{d^2 w}{dx^2} + \frac{E h_u}{R^2} w = p, \quad (1)$$

где x – осевая координата, w – радиальное перемещение, $T_1 = \frac{p_0 R}{2}$ – осевое усилие, которое определяется из условия равновесия днища.

Если обозначить $\alpha^2 = \sqrt{\frac{3h_u}{R^2\delta_c^2} - \frac{3T_1}{E\delta_c^3}}$, $\beta^2 = \sqrt{\frac{3h_u}{R^2\delta_c^2} + \frac{3T_1}{E\delta_c^3}}$, то общее решение

с условием затухания уравнения (1) будет иметь вид

$$w = \frac{p_1 R^2}{Eh_u} + C_1 e^{-\alpha x} \sin \beta x + C_2 e^{-\alpha x} \cos \beta x; \quad (2)$$

Уравнение углов поворота днища имеет вид [2]

$$v_\delta = C_3 r + \frac{C_4}{r} + \frac{1}{D_\delta r} \int [\hat{r}] \int Q_\delta d\bar{r} d\hat{r}, \quad (3)$$

где $Q_\delta = \frac{p_\delta r}{2}$ – поперечная сила, $D_\delta = \frac{Eh_\delta^3}{12(1-\mu^2)}$ – изгибная жесткость днища.

Подставив выражение Q_δ в уравнение (3) и выполнив интегрирование найдем

$$v_\delta = C_3 r + \frac{C_4}{r} + \frac{p_\delta r^3}{16D_\delta} \quad (4)$$

Так как для сплошной пластины без отверстия угол поворота нормали при $r=0$ не должен обращаться в бесконечность и, следовательно, $C_4=0$. Остальные постоянные определим из граничных условий сопряжений оболочки с днищем

$$\begin{cases} w(0) = 0; \\ v(0) = -v_\delta(R); \\ M(0) = M_r(R). \end{cases} \quad (5)$$

Решая систему (5) находим постоянные C_1, C_2, C_3 :

$$C_2 = \frac{p_\delta R^2}{Eh_u};$$

$$C_1 = \frac{p_\delta R \left(\frac{D_\delta(1+\mu)}{Eh_u H} - \frac{R(1+\mu)}{16} + \frac{R(3+\mu)}{16} \right) + C_2 \left(\frac{\alpha D_\delta(1+\mu)}{R} + D(\beta^2 - \alpha^2) \right)}{\frac{D_\delta \beta(1+\mu)}{R} - 2D\alpha\beta};$$

$$C_3 = \frac{p_\delta R}{Eh_u H} - \frac{p_\delta R^2}{D_\delta} - \frac{\beta C_1}{R} + \frac{\alpha C_2}{R},$$

где $D = \frac{E\delta_c^3}{12}$ – изгибная жесткость оболочки.

Силловые факторы M_1 , T_2 , возникающие в оболочке, определяются по формулам [1]:

$$T_2 = \frac{Eh_u w}{R} = p_1 R + \frac{Eh_u}{R} (C_1 e^{-\alpha x} \sin \beta x + C_2 e^{-\alpha x} \cos \beta x);$$

$$M_1 = D \frac{d^2 w}{dx^2} = D e^{-\alpha x} (\sin \beta x (C_1 (\alpha^2 - \beta^2) + 2\alpha\beta C_2) - \cos \beta x (2\alpha\beta C_1 + C_2 (\beta^2 - \alpha^2))).$$

Аналогично определяются усилия, возникающие в днище:

$$M_r = D_o \left(\frac{dv}{dr} + \mu \frac{v}{r} \right) = D_o C_3 (1 + \mu) + \frac{p_o r^2}{16} (3 + \mu);$$

$$M_r = D_o \left(\frac{v}{r} + \mu \frac{dv}{dr} \right) = D_o C_3 (1 + \mu) + \frac{p_o r^2}{16} (1 + 3\mu).$$

Напряжения в оболочке и в днище определяются по известным формулам:

$$\sigma_1 = \frac{T_1}{h_c} \pm \frac{M_1}{\delta_c^2 / 6}; \quad \sigma_2 = \frac{T_2}{h_u}; \quad \sigma_r = \pm \frac{M_r}{h^2 / 6}; \quad \sigma_t = \pm \frac{M_t}{h^2 / 6}. \quad (6)$$

Методика расчета технологических параметров спуска обсадных колонн описанная в [3], является упрощенной и не учитывает влияние на напряженно-деформированное состояние таких конструктивных элементов, как днище, стрингеры и шпангоуты.

В качестве примера рассмотрим спуск обсадной колонны диаметром $D_m = 4,3$ м на плаву в скважину глубиной $l = 600$ м при помощи буровой установки грузоподъемностью $G_y = 3200$ кН. Удельный вес жидкости в скважине принимаем $\gamma_{ж} = \rho g = 11760$ Н/м³. Колонна представляет собой трубу, подкрепленную шпангоутами, и имеет следующие параметры [4]: толщина стенки трубы $h = 0,016$ м, ширина шпангоута $b_{ш} = 0,3$ м, толщина — $h_{ш} = 0,02$ м, шаг $t_{ш} = 0,75$ м, погонный вес колонны $\gamma = 25,04$ кН/м, критическое давление на крепь $P_{кр} = 0,14$ МПа.

Определим необходимое снижение веса на крюк установки

$$\Delta G = \gamma l - G_y = 25,04 \cdot 600 - 3200 = 11824 \text{ кН.}$$

Требуемая высота опорожнения колонны согласно [3] будет

$$H = \frac{\Delta G}{0,785 D_m^2 \gamma_{жс}} = \frac{11824000}{0,785 \cdot 4,3^2 \cdot 11760} = 69,3 \text{ м.}$$

Для определения оптимальной конструкции днища исследуем напряженное состояние оболочки в месте состыковки с днищем. На рис. 2 показан график изменения осевых напряжений σ_1 при $x=0$, в зависимости от приведенной толщины днища h_d . Из графика рис. 2 следует, что приведенную толщину днища можно принять $h_d = 0,4$ м, так как дальнейшее ее увеличение приводит к незначительному снижению напряжений.

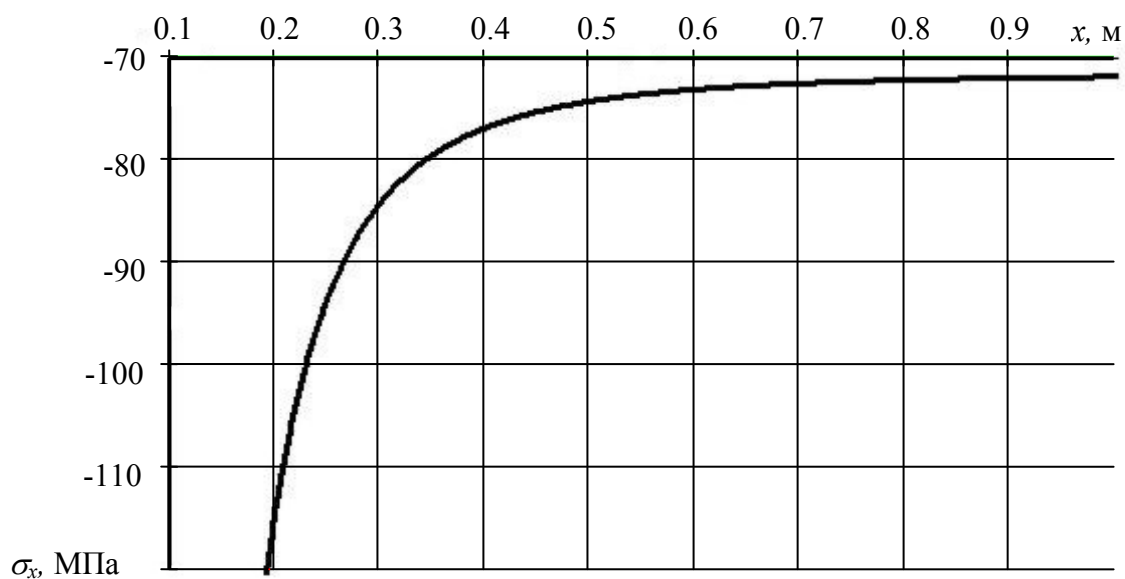


Рис. 2 – Осевые напряжения в зависимости от приведенной толщины днища.

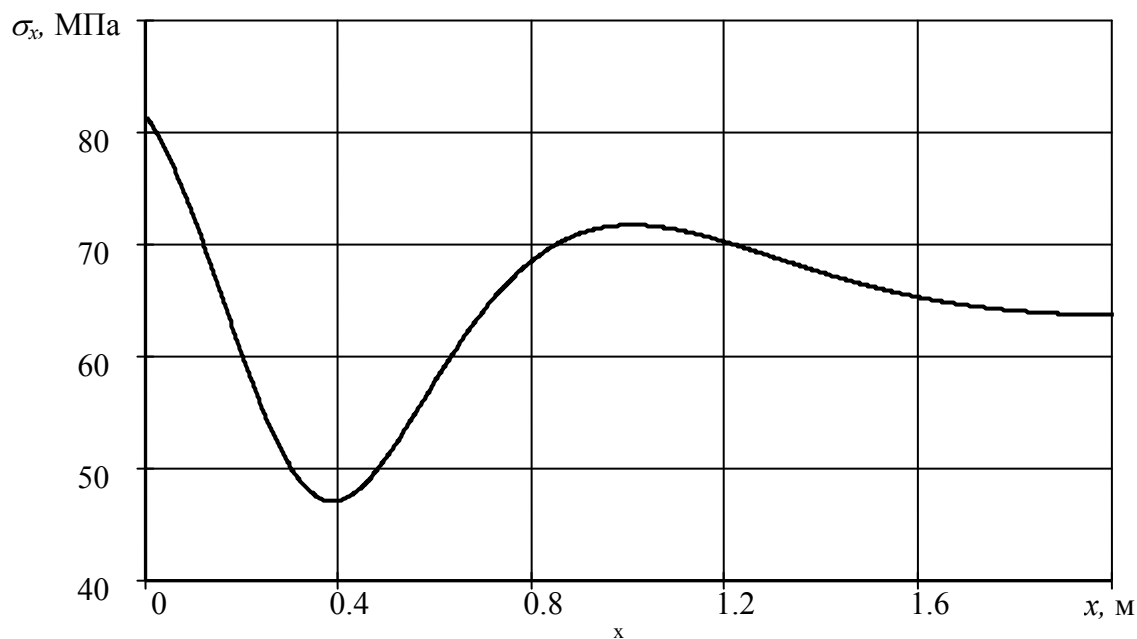


Рис. 3 – Эквивалентные напряжения в теле оболочки.

Эквивалентные напряжения определяются по известной формуле $\sigma_{\text{экв}} = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 - \sigma_1\sigma_2}$, график изменения эквивалентных напряжений представлен на рис. 3.

Для данного случая максимальное давление на колонну составило $p_1 = 0,815$ МПа, что вызвало максимальные эквивалентные напряжения $\sigma_{\text{экв}} = 81,4$ МПа, при допустимых для данной стали на смятие $[\sigma_{\text{см}}] = 190$ МПа.

Таким образом, можно сделать вывод, что приведенные данные по критическому давлению на крепь в монографии [4], являются заниженными.

Библиографический список

1. Основы строительной механики ракет: Учеб. пособие/ Балабух Л. И., Колесников К. С., Зарубин В. С. и др. – М.: «Высшая школа», 1969. – 496 с.
2. Бояршинов С.В. Основы строительной механики машин. – М.: Машиностроение, 1973. – 456 с.
3. Добровольский Г.Б., Казикаев Д.М., Петриченко В.П. Крепление скважин большого диаметра. – М.: Недра, 1988. – 238 с.
4. Жиленко Н. П., Краснощек А. А. Справочное пособие по реактивно-турбинному бурению. – М.: Недра, 1987. – 309 с.