

УДК 622.245.12

УЛИТИН Г. М., ЦАРЕНКО С. Н. (ДонНТУ)

ВЛИЯНИЕ ДНИЩА НА КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ОБСАДНОЙ КОЛОННЫ

Спуск обсадной колонны на плаву является одним из наиболее распространенных способов спуска. Суть процесса заключается в снижении нагрузки на буровую установку за счет перекрытия трубы сплошным днищем (рис. 1), что позволяет значительно увеличить длину спускаемой секции. Обоснование выбора данного способа и методика проведения монтажных операций описаны в работах [1], [2].

В работе [3] было проведено исследование взаимодействия трубы с днищем. В модели была принята сплошная конструкция днища, и результаты показали, что использование такой конструкции для обсадных колонн большого диаметра не рационально из-за высокой материалоемкости и массивности, что в свою очередь приводит к сложностям при его монтаже. Так, например, для трубы $\varnothing 4,3$ м требуемое стальное днище толщиной $\delta_0=80$ мм будет весить, порядка, 9,2 т. Наиболее рациональной конструкцией с точки зрения материалоемкости и обеспечения требуемой прочности, будет тонкостенная пластина, усиленная радиальными ребрами. Таким образом, задача сводится к поиску оптимальных соотношений между толщиной пластины, жесткостью и шагом ребер.

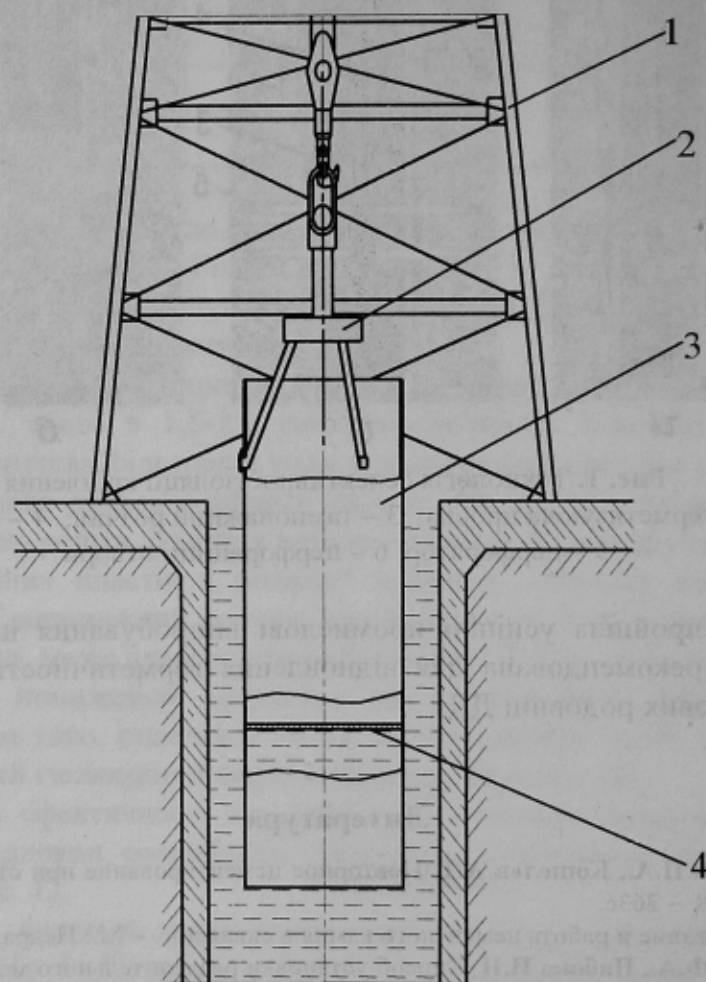


Рис. 1. Схема спуска обсадной колонны на плаву:

1 – буровая вышка; 2 – прицепное устройство; 3 – обсадная колонна; 4 – днище.

В качестве математической модели напряженно-деформированного состояния рассмотрим дифференциальное уравнение деформации круглой пластины [4]

$$\nabla^2 \nabla^2 w = \left(\frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2}{\partial \varphi^2} \right) \left(\frac{\partial^2 w}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial w}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 w}{\partial \varphi^2} \right) = \frac{p_\delta}{D_\delta} \quad (1)$$

Общее решение дифференциального уравнения (1) можно представить в виде суммы общего решения однородного дифференциального уравнения и частного решения уравнения с правой частью:

$$w = w_0 + \bar{w}. \quad (2)$$

Частное решение при равномерном давлении p_δ будет иметь вид

$$\bar{w} = \frac{p_\delta r^4}{64 D_\delta}. \quad (3)$$

где $D_\delta = \frac{E \delta_\delta^3}{12(1-\mu^2)}$ — изгибная жесткость днища.

Общее решение однородного уравнения было получено Клебшем [4]

$$w_0 = F_0(r) + \sum_1^\infty F_k(r) \cos k\varphi + \sum_1^\infty f_k(r) \sin k\varphi, \quad (4)$$

где

$$\left. \begin{aligned} F_0(r) &= C_{1,0} + C_{2,0}r^2 + C_{3,0} \ln\left(\frac{r}{R}\right) + C_{4,0}r^2 \ln\left(\frac{r}{R}\right) \\ F_1(r) &= C_{1,1}r + C_{2,1}r^{-1} + C_{3,1}r^3 + C_{4,1}r \ln\left(\frac{r}{R}\right) \\ F_k(r) &= C_{1,k}r^k + C_{2,k}r^{-k} + C_{3,k}r^{k+2} + C_{4,k}r^{-k+2} \quad (\text{при } k \neq 1). \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

Функции $f_1(r)$, $f_k(r)$ определяются такими же соотношениями, как и функции $F_1(r)$, $F_k(r)$.

Точное решение для круглой пластины с радиальными ребрами является весьма сложным, поэтому для расчетной модели (рис. 2) примем следующие допущения:

1. Давление, действующее на днище, представим в виде: $p_\delta = p_1 + p_2$, где p_1 — давление вызывающее осесимметричную деформацию пластины w_1 в сечении, проходящем вдоль ребра жесткости; p_2 — давление, вызывающее деформацию пластины w_2 относительно ребер жесткости;

2. Действие ребер заменим реакциями с их стороны. Фактически реакция со стороны ребра будет действовать по всей его длине, что дает бесконечное число решений уравнения (4). Поэтому эту реакцию заменим одной сосредоточенной силой Q , приложенной на расстоянии ρ от центра пластины, считая при этом, что такое допущение незначительно влияет на значения деформаций и напряжений в круговом сечении $r = \rho$.

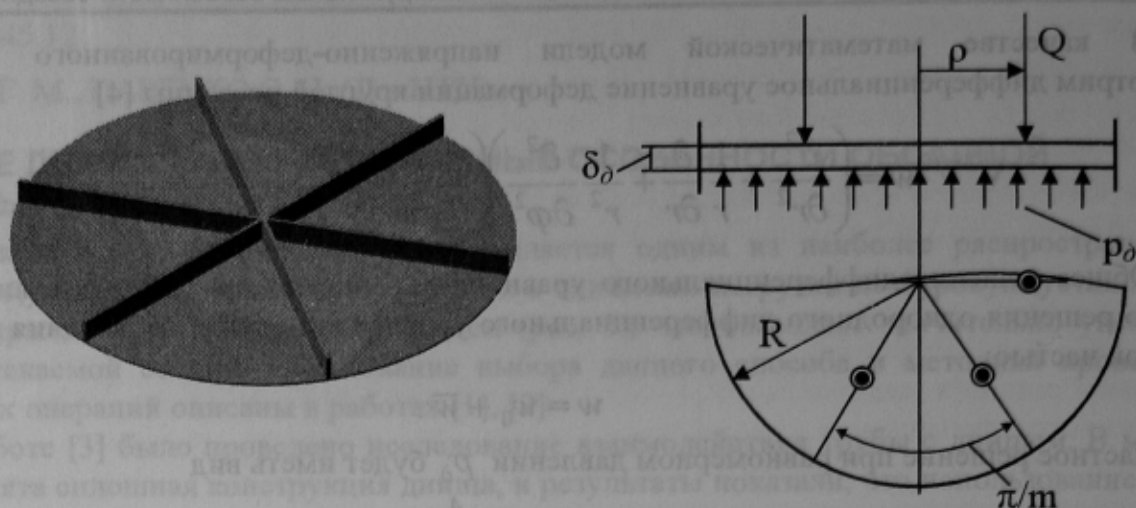


Рис. 2. Расчетная модель днища, усиленного радиальными ребрами.

Рассмотрим совместную деформацию пластины и ребра. Уравнение осесимметричной деформации сплошной пластины будет иметь вид [4]

$$w_1(r) = C_{1,0} + C_{2,0}r^2 + \frac{p_1 r^4}{64D_0} \quad (6)$$

Соответственно уравнение деформации ребра (балки), нагруженного распределенной нагрузкой q в нашем случае, имеет вид

$$y(r) = y_0 + \frac{M_0 r^2}{2EJ_x} + \frac{qr^4}{24EJ_x}, \quad (7)$$

где J_x – осевой момент инерции ребра. Тогда из условия совместности деформации

пластины и ребра $w_1(r) = y(r)$ получаем: $\frac{p_1}{64D_0} = \frac{q}{24EJ_x}$ Если предположить, что

давление p_2 будет равномерно распределяться между ребрами и заделкой на внешнем торце

пластины, то получим $q = \frac{\pi R p_2}{4m + \pi}$, и с учетом, что $p_2 = p_0 - p_1$ имеем

$$p_1 = \frac{1}{1 + \frac{3(4m + \pi)EJ_x}{8\pi R D_0}} p_0 \quad (8)$$

Реакцию со стороны ребер Q , которая является сосредоточенной, представим обобщенным рядом Фурье по косинусам

$$q = -\frac{Qm}{\rho\pi} - \frac{2Qm}{\rho\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \cos 2mn\varphi \quad (9)$$

Тогда общее решение однородного уравнения (1) для кольцевого участка пластины ($\rho \leq r \leq R$) будем искать в виде

$$w_0 = F_0(r) + \sum_{k=1}^{\infty} F_k(r) \cos k\varphi \quad (10)$$

Из выражения (10) можно получить уравнения деформаций и внутренних силовых факторов с учетом формул (2,3, 5 и 10).

Постоянные интегрирования и силу Q определим из граничных условий:

$$\begin{cases} w(R) = 0; \\ v(R) = 0; \\ v(\rho) = 0; \\ Q_r(\rho) = q; \\ w(\rho) = 0. \end{cases} \quad (11)$$

Напряжения в днище определяются по формулам

$$\sigma_r = \pm \frac{M_r \cdot 6}{\delta_\delta^2}; \quad \sigma_t = \pm \frac{M_t \cdot 6}{\delta_\delta^2}. \quad (12)$$

В качестве примера рассмотрим спуск обсадной колонны диаметром $d = 4,3$ м на плаву в скважину глубиной $l = 600$ м при помощи буровой установки грузоподъемностью $G_y = 3200$ кН. Вся нижняя часть колонны, начиная с 50 м, будет нагружена внешним давлением $p = 0,583$ МПа. Проанализируем характер изменения напряжений σ_t в круговом сечении $r = R/2$ для днища толщиной стенки $\delta_\delta = 40$ мм усиленного шестью радиальными ребрами толщиной $\delta_p = 40$ мм и высотой $H_p = 500$ мм.

В зоне состыковки ребер с пластиной (рис. 3) присутствует значительная концентрация напряжений, притом, что по середине пролета между ребрами напряжения незначительны, что связано с допущениями принятыми в модели. Поэтому для анализа влияния толщины пластины и шага ребер на напряженно-деформированное состояние будем рассматривать напряжения по середине пролета.

Согласно графикам (рис. 4) число ребер жесткости оказывают существенное влияние на напряженное состояние пластины при ее толщине до 50 мм. При большей толщине использование ребер нецелесообразно, т.к. при этом увеличение числа ребер не снижает напряжения в днище.

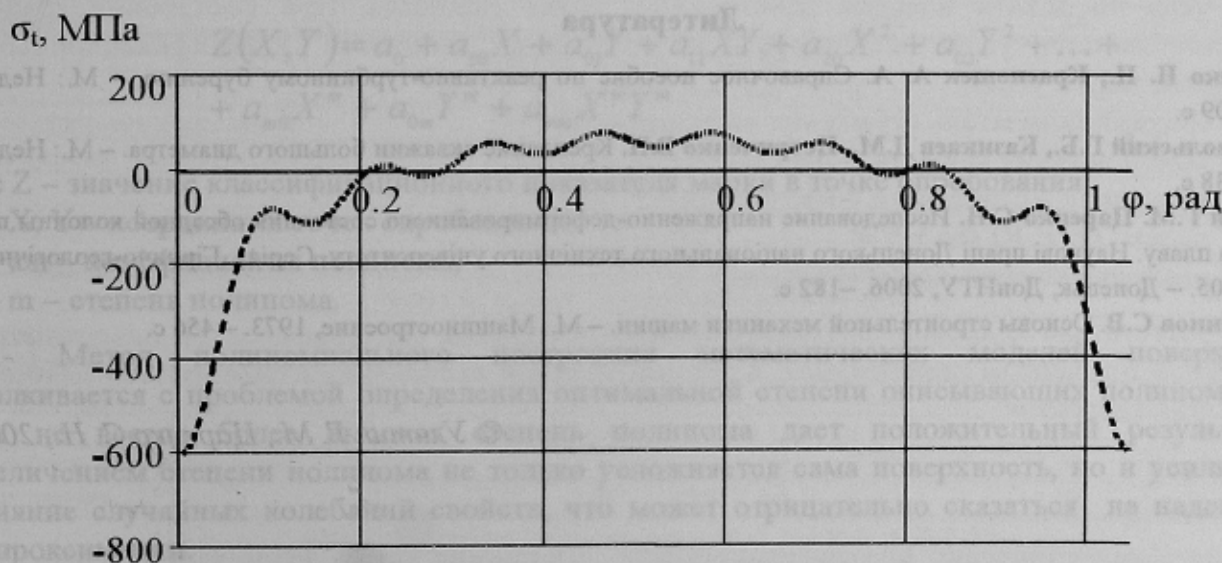


Рис. 3. График изменения окружных напряжений в днище при $r=p=R/2$.

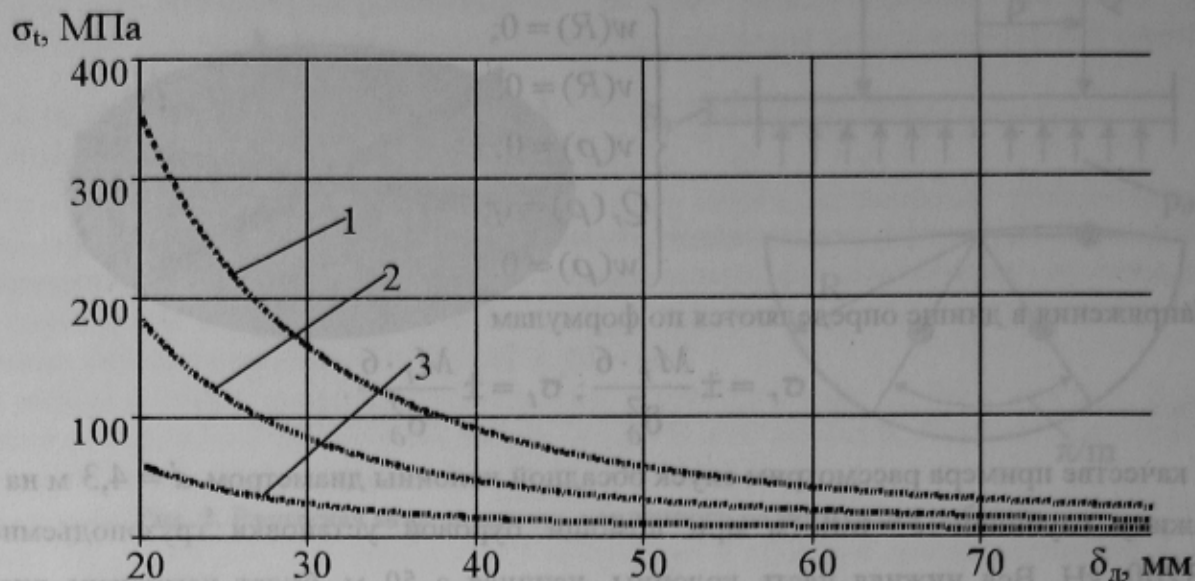


Рис. 4. График изменения окружных напряжений в днище по середине пролета в зависимости от толщины пластины δ_d при числе ребер: 1 – 4; 2 – 6; 3 – 8.

Для оценки степени влияния принятых допущений на точность выполненных расчетов был проведен анализ напряженно-деформированного состояния методом конечных элементов. Сравнение результатов полученных аналитическим методом и с использованием метода конечных элементов показали на исследуемых участках аналогичный характер поведения функций w , численные расхождения составили: максимальное значение по середине пролета между ребрами $\varphi = \pi / 2m$ составляет 7,8%; максимальное значение по сечению $\rho = R / 2$ (рис. 3.9) – 6,9%.

Таким образом, принятые допущения в модели, используемой в аналитическом методе, не оказывают значительного влияния не на характер поведения, не на численные значения деформаций.

Литература

1. Жиленко Н. П., Краснощек А. А. Справочное пособие по реактивно-турбинному бурению. – М.: Недра, 1987. – 309 с.
2. Добровольский Г.Б., Казикаев Д.М., Петриченко В.П. Крепление скважин большого диаметра. – М.: Недра, 1988. – 238 с.
3. Улитин Г.М. Царенко С.Н. Исследование напряженно-деформированного состояния обсадной колонны при спуске на плаву. Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: „Гірничо-геологічна”. Випуск 105. – Донецьк, ДонНТУ, 2006. – 182 с.
4. Бояршинов С.В. Основы строительной механики машин. – М.: Машиностроение, 1973. – 456 с.

© Улитин Г. М., Царенко С. Н., 2007