определенное созвучие и явственную отечественную востребованность средневековой стилистики, полагая, что «есть даже некоторые местоположения, настоятельно, кажется, требующие готических зданий, которые своими странными, неправильными, смешными, гигантскими, но торжественными формами согласуются, в таком случае, с окружающими предметами». И наилучшим образом судьбоносная встреча исторической готики и российской культуры состоялась именно «загородом» – в провинции – в архитектуре усадеб, резиденций, «дворянских гнезд».

Столичная «неоготика», ставшая прибежищем русского романтизма (историзма, ретроспекции, стилизаторства, эклектики), как и все неостили, повинуясь модному течению, постепенно распространялась и на русскую провинцию. Именно в романтическом русле средневековой стилистики и разрешались исторические фантазии авторских архитектурных намерений, чему броским подтверждением может послужить своим «лица необщим выраженьем» и загадочно декорированный «готический особняк» в городе Туле.

Библиографический список

1.Куликов В.В. В этот дом мне легко приходить (Заметки архитектора) // Иван-озеро: сборник произведений тульских писателей / сост. В.Ф. Пахомов. – Тула: Гриф и К°, 2010. – 488 с. – С. 431-440.

УДК 622.831.1

К ВОПРОСУ О РАСЧЕТЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ ОБСАДНОЙ ТРУБЫ ПРИ ЕЕ СПУСКЕ НА ПЛАВУ

Борщевский С.В. , Царенко С.Н., Василенко Е.В. ,
Донецкий национальный технический университет, г.Донецк Украина

Представлена расчетная модель для исследования напряженно-деформированного состояния трубы в зоне стыковки с днищем.

При бурении скважин большого диаметра, как правило, грузоподъемность буровой установки выбирают по весу обсадной колонны, которую предстоит опускать в скважину. Если вес колонны превышает грузоподъемность буровой установки, то применяют три специальных способа спуска колонны: на воздушной подушке, на плаву или 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 колонны на плаву является наиболее простым и эффективным способом, но ограничен допустимым внешним давлением на колонну. Спуск колонн на воздушной подушке лишен недостатков предыдущих способов, но связан с усложнением технологии спуска и необходимостью применения специальных приспособлений.

Таким образом, актуальной задачей является определение наиболее рационального способа спуска в зависимости от горно-геологических параметров скважины и конструктивных особенностей трубы. Для решения данной задачи необходимо исследовать напряженно-деформированное состояние трубы в процессе спуска.

Исследование напряженно-деформированного состояния колонны при спуске на плаву можно разделить на три этапа:

1. Определение несущей способности трубы из условия прочности;
2. Исследование напряженно-деформированного состояния трубы в зоне состыковки с днищем, как наиболее напряженной зоны;
3. Обоснование конструктивных параметров стального днища.

Определение несущей способности колонны из условия ее прочности следует осуществлять по следующей методике.

Конструктивно обсадная колонна представляет собой трубу диаметром d, сваренную из листов толщиной δ, и усиленную кольцевыми ребрами (шпангоутами) из швеллера или полосы с площадью поперечного сечения $F_ш$. Один край трубы заглушают днищем и спускают в скважину, заполненную промывочной жидкостью (рис.1). Основная часть трубы находится в состоянии, соответствующего осесимметричному сжатию. В качестве расчетной модели принимаем тонкостенный цилиндр, загруженный внешним давлением p и кольцевыми силами q, расположенными друг от друга на расстоянии $s = S_ш$, где $S_ш$ и $b_ш$ – шаг между шпангоутами и их ширина соответственно, а так же продольным усилием T_x, (рис.1).

Давление, соответствующее гидростатическому давлению промывочной жидкости, $p = \rho g H$, где ρ – плотность промывочной жидкости, H – высота опорожнения колонны. Кольцевая сила q представляет собой реакцию со стороны шпангоута, $T_x = \dfrac{pd}{4}$ – усилие вызванное выталкивающей силой.

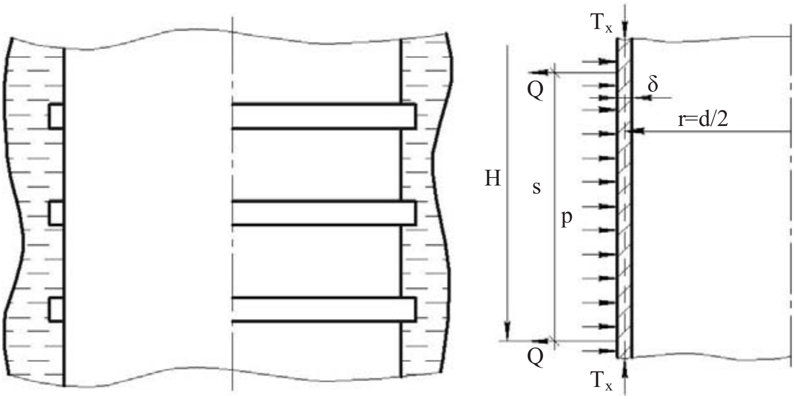

Рис. 1. Расчетная схема спуска обсадной колонны на плаву

Принимая начало координат в точке приложения силы q, уравнение осесимметричной деформации оболочки возьмем в виде [1]

$$\frac{d^4 w}{dx^4} + 4\beta^4 w = \frac{\mu T_x}{Dr} - \frac{p}{D}, \tag{1}$$

где, $\beta = \sqrt[4]{\dfrac{3(1-\mu^2)}{r^2\delta^2}}$, $D = \dfrac{E\delta^3}{12(1-\mu^2)}$ – изгибная жесткость оболочки.

Общее решение уравнения (1) представим в виде суммы общего решения однородного уравнения и частного решения

$$w = w_0 + \overline{w}, \tag{2}$$

где $\overline{w} = \dfrac{\mu T_x}{4\beta^4 Dr} - \dfrac{p}{4\beta^4 D} = \dfrac{\mu T_x r}{E\delta} - \dfrac{pr^2}{E\delta}$ – частное решение;

$w_0 = C_1 e^{-\beta x} \sin \beta x + C_2 e^{-\beta x} \cos \beta x + C_3 e^{\beta x} \sin \beta x + C_4 e^{\beta x} \cos \beta x$ – общее решение однородного уравнения.

Постоянные C_1, C_2, C_3, C_4 и q определяются из граничных условий:

$$\begin{cases} Q(0) = q; \\ v(0) = 0; \\ Q(s) = q; \\ v(s) = 0; \\ w(0) = w_{ш}, \end{cases} \qquad (3)$$

где $w_{ш}$ – деформация шпангоута в радиальном направлении;

$v = \dfrac{dw}{dx}$ – угол поворота нормали;

$Q = D\dfrac{d^3 w}{dx^3}$ – поперечная сила.

Кольцевую силу q определим из зависимости: $w_{ш} = \dfrac{qr^2}{EF_{ш}}$, где $F_{ш}$ – площадь поперечного сечения шпангоута.

Решая систему (3), с учетом того, что для исследуемых труб ($\delta = 16 \div 20$ мм $r = 0{,}9 \div 2{,}5$ м) величина шага более $s \geq 0{,}1 \div 0{,}36$ м находим постоянные:

$$C_1 = \frac{F_{ш}(pr^2 - \mu T_x r)}{\delta(EF_{ш} + 4\beta^3 Dr^2)};$$

$$C_2 = \frac{F_{ш}(pr^2 - \mu T_x r)}{\delta(EF_{ш} + 4\beta^3 Dr^2)};$$

$$C_3 = \frac{F_{ш}(pr^2 - \mu T_x r)}{\delta(EF_{ш} + 4\beta^3 Dr^2)} e^{-\lambda}(\sin\lambda - \cos\lambda);$$

$$C_4 = \frac{F_{ш}(pr^2 - \mu T_x r)}{\delta(EF_{ш} + 4\beta^3 Dr^2)} e^{-\lambda}(\cos\lambda + \sin\lambda).$$

Подставляя значения постоянных в уравнение (2), получаем выражения для деформаций и усилий:

– радиальное перемещение

$$w(x) = \frac{F_ш(pr^2 - \mu T_x r)}{\delta(EF_ш + 4\beta^3 Dr^2)}(e^{-\beta x}\sin\beta x + e^{-\beta x}\cos\beta x +$$

$$+ e^{-\lambda}(\sin\lambda - \cos\lambda)e^{\beta x}\sin\beta x + \quad ; \qquad (4)$$

$$+ e^{-\lambda}(\cos\lambda + \sin\lambda)e^{\beta x}\cos\beta x) + \frac{\mu T_x r}{E\delta} - \frac{pr^2}{E\delta}$$

– углы поворота нормали

$$v(x) = \frac{dw}{dx} = \frac{F_ш(pr^2 - \mu T_x r)}{\delta(EF_ш + 4\beta^3 Dr^2)}(-2e^{-\beta x}\sin\beta x +$$

$$+ e^{-\lambda}(\sin\lambda - \cos\lambda)e^{\beta x}(\sin\beta x + \cos\beta x) + \quad ; \qquad (5)$$

$$+ e^{-\lambda}(\cos\lambda + \sin\lambda)e^{\beta x}(\cos\beta x - \sin\beta x))$$

– окружное усилие

$$T_t(x) = -\mu T_x + \frac{E\delta w}{r} = \frac{F_ш E(pr^2 - \mu T_x r)}{r(EF_ш + 4\beta^3 Dr^2)} \times$$

$$\times(e^{-\beta x}\sin\beta x + e^{-\beta x}\cos\beta x + e^{-\lambda}(\sin\lambda - \cos\lambda)e^{\beta x}\sin\beta x + ; \qquad (6)$$

$$+ e^{-\lambda}(\cos\lambda + \sin\lambda)e^{\beta x}\cos\beta x) - pr$$

– изгибающий момент в осевом направлении

$$M_x(x) = D\frac{d^2 w}{dx^2} = \frac{2DF_ш\beta^2(pr^2 - \mu T_x r)}{\delta(EF_ш + 4\beta^3 Dr^2)}$$

$$\times(-e^{-\beta x}\cos\beta x + e^{-\beta x}\sin\beta x + e^{-\lambda}(\sin\lambda - \cos\lambda)e^{\beta x}\cos\beta x - ; \qquad (7)$$

$$- e^{-\lambda}(\sin\lambda + \cos\lambda)e^{\beta x}\sin\beta x)$$

– изгибающий момент в окружном направлении

$$M_t(x)=\mu M_x(x)=\frac{2DF_ш\beta^2\mu(pr^2-\mu T_x r)}{\delta(EF_ш+4\beta^3 Dr^2)}\times$$

$$\times(-e^{-\beta x}\cos\beta x+e^{-\beta x}\sin\beta x+ \qquad ; \quad (8)$$

$$+e^{-\lambda}(\sin\lambda-\cos\lambda)e^{\beta x}\cos\beta x-e^{-\lambda}(\sin\lambda+\cos\lambda)e^{\beta x}\sin\beta x)$$

Напряжения определим по известным формулам [71]

$$\sigma_x=\frac{T_x}{\delta}\pm\frac{6M_x}{\delta^2};\ \sigma_t=\frac{T_t}{\delta}\pm\frac{6M_t}{\delta^2};$$

$$\sigma_{екв}=\sqrt{\sigma_x^2+\sigma_t^2-\sigma_x\sigma_t}\,. \qquad (9)$$

На графике рис. 2 показано влияние шага на величину Δ по середине пролета для труб диаметра d=4,3 м с различной толщиной стенки δ=12; 16 и 20 мм.

Определим жесткость ребер из условия прочности трубы в зоне состыковки, т.е. $\sigma_{екв}^{(1)}(0)\le[\sigma]$ (рис. 1). На рис. 2 показан график изменения эквивалентных напряжений в трубе d=4,3 при различной толщине стенок δ=12; 16 и 20 мм в зависимости от параметра жесткости $F_ш$, из которого следует, что на напряжения в зоне состыковки основное влияние оказывает толщина трубы, а не жесткость ребер.

Для спуска обсадных труб небольшого диаметра (до 1 м) на плаву или на воздушной подушке, как правило, в качестве днища используется цементный мост значительной толщины. При больших диаметрах использование такого днища становится неприемлемым из-за сложностей его монтажа, т.о. для труб большого диаметра возникает необходимость в конструкции менее массивного и достаточно прочного днища.

Требуемые параметры может обеспечить стальное днище, но при не достаточной его жесткости значительные усилия могут передаваться на трубу, что приводит к установкам в зоне состыковки дополнительных ребер жесткости (стрингеры). Для разрешения таких технологических проблем, необходимо решить следующие задачи:

– определить требуемую жесткость днища из условия его прочности;

– определить длину участка трубы, который необходимо укрепить, а так же выбрать параметры усиливающих ребер.

В качестве расчетной модели при спуске обсадной колонны на плаву (рис.3.) рассмотрим полубесконечную цилиндрическую оболочку, погруженную в жидкость и подкрепленную продольными (стрингеры), кольцевыми (шпангоуты) ребрами с упругим днищем радиуса R. Оболочка имеет следующие параметры: толщина стенки δ, F_c, S_c – площадь сечения и шаг между стрингерами, $F_ш$ $S_ш$– площадь сечения и шаг между шпангоутами. На цилиндрическую поверхность оболочки действует внешняя нагрузка $p = \gamma_{ж} H$ соответствующая давлению жидкости на днище.

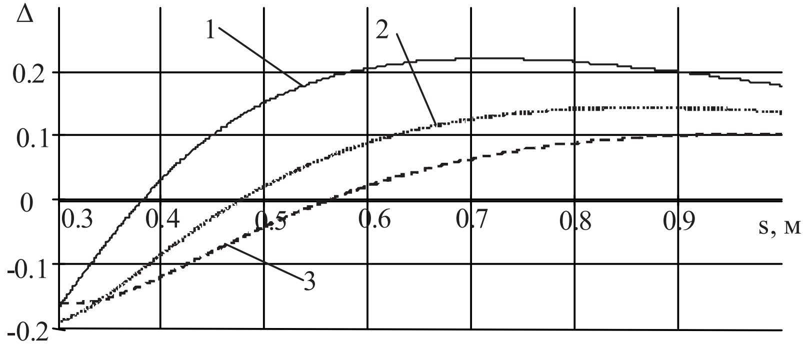

Рис. 2 – График изменения Δ в зависимости от величины шага труб диаметром 4,3 м с толщиной стенки: 1 – 12 мм; 2 – 16 мм; 3 – 20 мм

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. Толщину оболочки, которую будем считать приведенной, при растяжении в кольцевом и меридиональном направлениях будет вычисляться по формулам [1]:

$$\delta_ш = \delta + \frac{F_ш}{S_ш}, \; \delta_c = \delta + \frac{F_c}{S_c}.$$

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

$$h_ш = \sqrt[3]{\frac{12J_ш}{S_ш}}, \; h_c = \sqrt[3]{\frac{12J_c}{S_c}}$$

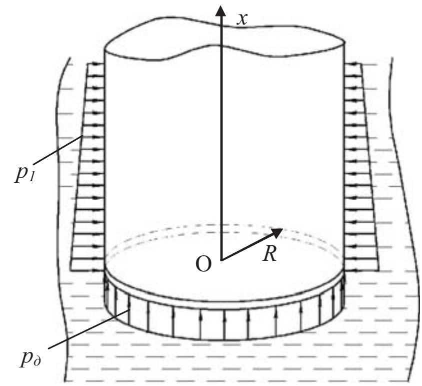

Рис. 3. Расчетная модель обсадной колонны при ее спуске на плаву

Уравнение осесимметричной деформации оболочки будет иметь вид [1]

$$E\frac{h_c^3}{12}\frac{d^4w}{dx^4}+T_x\frac{d^2w}{dx^2}+\frac{Eh_ш}{R^2}w=p\,, \tag{10}$$

где x – осевая координата,
w – радиальное перемещение,
$T_x=\dfrac{pR}{2}$ – осевое усилие, которое определяется из условия равновесия днища.

Если обозначить $\alpha^2=\sqrt{\dfrac{3\delta_ш}{R^2h_c^2}}-\dfrac{3T_x}{Eh_c^3}$, $\beta^2=\sqrt{\dfrac{3\delta_ш}{R^2h_c^2}}+\dfrac{3T_x}{Eh_c^3}$,

то общее решение с условием затухания уравнения (10) будет иметь вид

$$w=-\frac{pR^2}{Eh_ш}+C_1e^{-\alpha x}\sin\beta x+C_2e^{-\alpha x}\cos\beta x\,; \tag{11}$$

Уравнение углов поворота днища имеет вид [3]

$$v_д=C_3r+\frac{C_4}{r}+\frac{1}{D_дr}\int\left[\bar{r}\int Q_дd\bar{r}\right]d\bar{r}, \tag{12}$$

где $Q_\partial = \dfrac{pr}{2}$ – поперечная сила,

$D_\partial = \dfrac{E\delta_\partial^3}{12(1-\mu^2)}$ – изгибная жесткость днища.

Подставив выражение Q_∂ в уравнение (12) и выполнив интегрирование найдем

$$v_\partial = C_3 r + \frac{C_4}{r} + \frac{p_\partial r^3}{16D_\partial} \qquad (13)$$

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

$$\begin{cases} w(0) = 0; \\ v(0) = -v_\partial(R); \\ -M(0) = M_r(R). \end{cases} \qquad (14)$$

Решая систему (14) находим постоянные C_1, C_2, C_3:

$$C_2 = \frac{pR^2}{E\delta_ш};$$

$$C_1 = \frac{\dfrac{pR^2}{8} + C_2\left(\dfrac{\alpha D_\partial(1+\mu)}{R} + D(\alpha^2-\beta^2)\right)}{\dfrac{D_\partial\beta(1+\mu)}{R} + 2D\alpha\beta};$$

$$C_3 = -\frac{pR^2}{16D} - \frac{\beta C_1}{R} + \frac{\alpha C_2}{R},$$

где $D = \dfrac{Eh_c^3}{12(1-\mu^2)}$ – изгибная жесткость оболочки.

Силовые факторы M_x, T_t, и M_t возникающие в оболочке, определяются по формулам [2]:

$$T_t = \frac{E\delta_ш w}{R} = pR + \frac{E\delta_ш}{R}\left(C_1 e^{-\alpha x}\sin\beta x + C_2 e^{-\alpha x}\cos\beta x\right); \qquad (15)$$

$$\begin{gathered} M_x = D\frac{d^2w}{dx^2} = De^{-\alpha x}(C_1((\alpha^2-\beta^2)\sin\beta x - 2\alpha\beta\cos\beta x) + \\ + C_2(2\alpha\beta\sin\beta x + (\alpha^2-\beta^2)\cos\beta x)) \end{gathered};$$

$$\begin{gathered} M_t = D\mu\frac{d^2w}{dx^2} = D\mu e^{-\alpha x}(C_1((\alpha^2-\beta^2)\sin\beta x - 2\alpha\beta\cos\beta x) + \\ + C_2(2\alpha\beta\sin\beta x + (\alpha^2-\beta^2)\cos\beta x)) \end{gathered}. \qquad (16)$$

Аналогично определяются усилия, возникающие в днище [2]:

$$M_r = D_д\left(\frac{dv}{dr} + \mu\frac{v}{r}\right) = D_д C_3(1+\mu) + \frac{p_д r^2}{16}(3+\mu); \qquad (17)$$

$$M_t = D_д\left(\frac{v}{r} + \mu\frac{dv}{dr}\right) = D_д C_3(1+\mu) + \frac{p_д r^2}{16}(1+3\mu). \qquad (18)$$

Напряжения в оболочке определяются по формулам (9), в днище:

$$\sigma_r = \pm\frac{6M_r}{\delta_д^2}; \ \sigma_t = \pm\frac{6M_t}{\delta_д^2}. \qquad (19)$$

Оценка расчетного метода обсадных колонн на основе метода конечных элементов и степени влияния принятой модели на точность проведенных для некоторых случаев расчетов осуществлялась одним из наиболее распространенных и достаточно универсальных численных методов проведения анализа напряженно-деформированного состояния – МКЭ.

Выводы:

– жесткость шпангоутов оказывает влияние на несущую способность трубы лишь в пределах определенного участка, зависящего от толщины стенки трубы δ. При величине шага шпангоутов превышающей длину этого участка наличие ребер жесткости не оказывает влияние на несущую способность трубы в целом;

– после выбора параметров трубы и ребер следует делать проверку прочности в зоне их состыковки, что обусловлено концентрацией напряжений в этой зоне;

– при использовании днища, для обеспечения прочности, участок трубы в зоне состыковки следует дополнительно усиливать стрингерами, при этом длина участка и параметры ребер должны выбираться в зависимости от конструкции днища;

– проверка аналитического метода численным показал, что принятые допущения в моделях используемых в аналитическом методе не оказывают значительного влияния не на характер поведения не на численные значения исследуемых функций.

Библиографический список

1. Бояршинов С.В. Основы строительной механики машин / Бояршинов С.В. – М.: Машиностроение, 1973. – 456 с.

2. Основы строительной механики ракет: [учеб. пособие для студ. высш. уч. зав.] / Балабух Л. И., Колесников К. С., Зарубин В. С. и др. – М.: Высшая школа, 1969. – 496 с.

3. Тимошенко С.П. Пластинки и оболочки / С.П. Тимошенко, С. Войновский-Кригер: [пер. с англ.] – М.: Наука, 1966. – 635 с.

УДК 691.1/2

СВЕТОПРОЗРАЧНЫЕ ПОЛИМЕРСИЛИКАТНЫЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДОВ.

Прудков Е.Н., Кузьмина С.В.
Тульский государственный университет, г.Тула, Тула

Изучен процесс образования структуры и свойств сложных многокомпонентных систем на основе жидкостекольной (полимерсиликатной) матрицы и компонентов, включающих добавку суперпластификатора, наноструктурный углеродный комплекс, фиброволокно, и заполнитель из стеклобоя.

Современное строительство уже нельзя представить без массового использования различных композиционных материалов и изделий на их основе.

Изучение процесса образования структурных сложных многокомпонентных систем на основе жидкого стекла, стеклобоя – техногенного отхода, добавок – фиброволокна, наноструктурного углеродного комплекса, суперпластификатора, является инновационным направлением в строительном материаловедение.