

Список литературы: 1. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность; ГОСТ 14249-89. – [Дата введения 01.01.90]. – Издательство стандартов, 1989. – 79 с. 2. Указания по расчету на прочность и вибрацию технологических стальных трубопроводов; РТМ 38.001-94. – [Дата введения 26.12.94]. – 97 с. 3. Металл паросилового оборудования. Методы металлографического анализа в условиях эксплуатации; ОСТ 34-70-690-96. – Стандарт отрасли. [Дата введения 1997-07-01]. – 44 с.

Поступила в редколлегию 25.03.10

УДК 620.16.001.24

П.С. МАРЧЕНКО, канд. техн. наук, ОАО «УкрНИИхиммаш»,
г. Харьков, Украина

РАСЧЕТ УГЛА ПОВОРОТА ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ ФЛАНЦА ПОД ДЕЙСТВИЕМ НАГРУЗКИ БОЛТА

Виведено диференціальну залежність, яка описує кут повороту поперечного перетину фланця під дією одного болта. Показано як можна використати цю залежність при розрахунках герметичності фланцевих з'єднань, які мають малу кількість болтів.

Получено дифференциальное уравнение, которое описывает угол поворота поперечного сечения фланца под действием нагрузки одного болта. Показано как можно использовать эту зависимость при расчетах герметичности фланцевых соединений, имеющих малое число болтов.

Differential equation that describes cross-section rotation angle of the shale under the influence of the one bolt was received. This equation can be used for impermeability calculation of the shale combinations with small number of bolts.

При оценке герметичности фланцевого соединения используется угол поворота поперечного сечения фланца, который вычисляется по формуле [1]:

$$\theta = \frac{12M_{\phi}R}{Eh^3 \ln(D_n/D)}, \quad (1)$$

где M_{ϕ} – изгибающий момент, равномерно распределенный вдоль окружности центров тяжести поперечного сечения фланцевого кольца; R – радиус окружности центров тяжести поперечного сечения кольца $R = (D_n + D) / 4$; D_n , D – наружный и внутренний диаметры фланца; h – высота фланцевого кольца; E – модуль продольной упругости материала фланца.

Изгибающий момент M_ϕ создается болтами или шпильками, которые установлены на некотором расстоянии друг от друга. Более равномерное распределение изгибающего момента достигается тогда, когда имеется большое число болтов расположенных сравнительно близко друг от друга. Если же установлено мало болтов, и они расположены сравнительно далеко друг от друга, то изгибающий момент, возникающий в зоне установки болтов, может быть больше, чем между болтами. Это, в свою очередь, может оказать влияние на величину угла поворота поперечного сечения фланца.

Чтобы оценить это явление, рассмотрим деформации фланцевого кольца под действием нагрузки P_ϕ , которую создает один болт (рисунок).

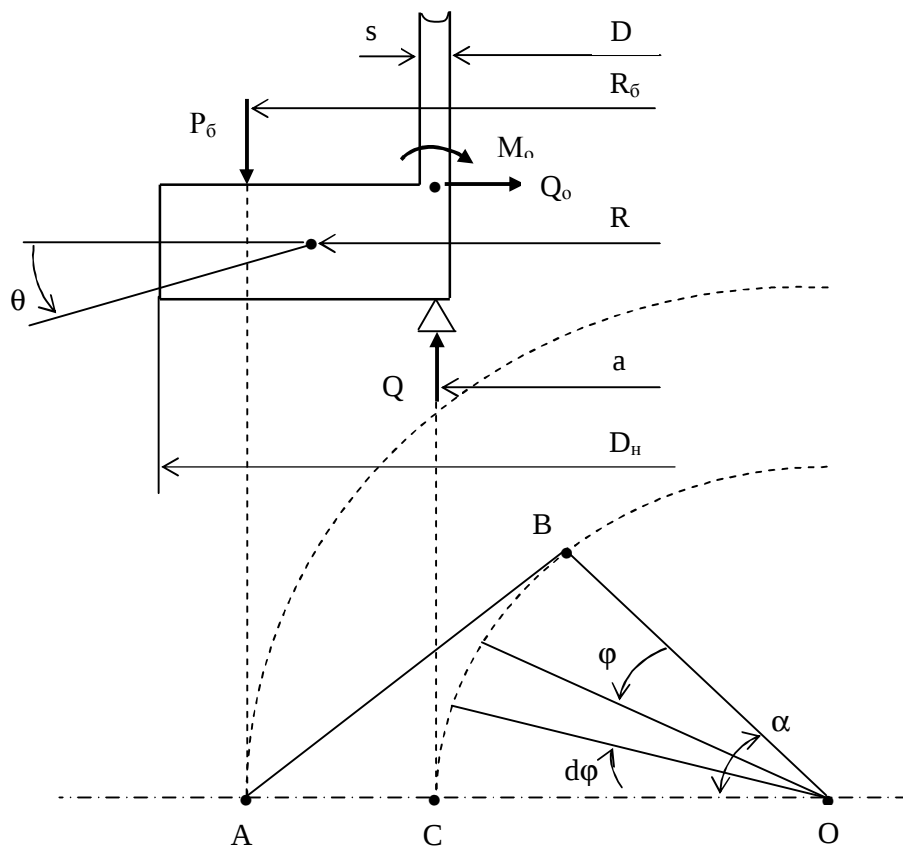


Рисунок – Схема нагружения фланца в зоне установки болта

Если фланец удерживает присоединенная к нему цилиндрическая оболочка, то в этом месте действует реактивная нагрузка Q , которая распространяется только вдоль дуги BC .

Угол α , характеризующий эту дугу, можно определить из следующих геометрических соотношений:

$$AB^2 = OA^2 - OB^2 = R_6^2 - a^2, \quad \operatorname{tg} \alpha = \frac{AB}{OB} = \frac{\sqrt{R_6^2 - a^2}}{a},$$

где R_6 – радиус болтовой окружности; a – средний радиус присоединенной цилиндрической оболочки $a = (D + s)/2$; s – толщина присоединенной цилиндрической оболочки.

После преобразования получаем:

$$\alpha = \operatorname{arg} \operatorname{tg} \sqrt{\gamma^2 - 1},$$

где γ – безразмерный коэффициент $\gamma = R_6 / a$.

Будем полагать, что реакция опоры Q распределена вдоль указанной дуги по закону синуса:

$$Q = Q_{\max} \sin \xi, \quad (2)$$

где ξ – приведенная координата сечения $\xi = \pi \varphi / 2 \alpha$; φ – угловая координата сечения, которую будем отсчитывать от точки B ; $Q_{\max}$ – максимальное значение нагрузки Q , которое возникает при $\varphi = \alpha$ (в том сечении, где установлен болт).

Воспользовавшись условием равновесия фланца $P_6 = 2 \int_0^\alpha Q a d\varphi$, можно получить максимальное значение:

$$Q_{\max} = \pi P_6 / 4 \alpha a. \quad (3)$$

Возникающие, при этом, нагрузки M_0 и Q_0 прямо пропорциональны углу поворота θ и вычисляются по формулам [1]:

$$M_0 = 2 \beta D_{\text{ц}} \theta, \quad Q_0 = 2 \beta^2 D_{\text{ц}} \theta, \quad (4)$$

где β – характеристика присоединенной оболочки $\beta = \sqrt{\frac{\sqrt{3(1-\mu^2)}}{as}}$; $D_{\text{ц}}$ – ци-

линдрическая жесткость оболочки $D_{\text{ц}} = \frac{Es^3}{12(1-\mu^2)}$; μ – коэффициент Пуассона.

Рассмотрим теперь нагрузки участка фланца длиной $dL = R d\varphi$. Если в начале участка в его поперечном сечении возникает крутящий момент M , то приращение этого крутящего момента можно вычислить по формуле:

$$dM = Qad\varphi(R - a) - M_0ad\varphi - Q_0ad\varphi\frac{h}{2}.$$

Для определения крутящего момента, возникающего на расстоянии φ от начала координат, необходимо вычислить интеграл:

$$M = \int_0^{\varphi} [Q(R - a) - M_0 - Q_0 \frac{h}{2}] a d\varphi.$$

Подставляя (2 ÷ 4) в это уравнение, после интегрирования, можно получить:

$$M = \frac{P_0}{2} (R - a)(1 - \cos \xi) - K \int_0^{\varphi} \theta d\varphi,$$

где K – коэффициент противодействия оболочки изгибу фланца:

$$K = 2\beta a D_{\text{ц}} \left(1 + \frac{\beta h}{2} \right).$$

Приращение угла закручивания поперечного сечения фланца на элементарном участке длиной dL можно вычислить по формуле:

$$d\theta = \frac{MRd\varphi}{GJ_K},$$

где G – модуль упругости при сдвиге, $G = E / 2 (1 + \mu)$; J_K – момент инерции на кручение поперечного сечения фланца $J_K = k b h^3$; k – коэффициент, $k \approx \min\{0,333; [1 - e^{-(0,235+0,065\ln(b/h))}]\}$; e – основание натуральных логарифмов; b – ширина фланца $b = (D_H - D) / 2$.

Для определения угла закручивания поперечного сечения фланца, возникающего на расстоянии φ от начала координат, необходимо вычислить интеграл:

$$\theta = \int_0^{\varphi} d\theta = C(\xi - \sin \xi) - q^2 \int_0^{\xi} \left(\int_0^{\xi} \theta d\xi \right) d\xi, \quad (5)$$

где C, q – безразмерные коэффициенты:

$$C = \frac{\alpha P_6 R(R - a)}{\pi G J_K}, \quad q^2 = \frac{K R}{G J_K} \left(\frac{2\alpha}{\pi} \right)^2.$$

Если пренебрегать влиянием оболочки, присоединенной к фланцу, или рассматривать кольцо свободное не имеющее присоединенной оболочки, то в уравнении (5) надо принять $q = 0$. При этом угол закручивания свободного кольца под действием единичной болтовой нагрузки вычисляется по формуле:

$$\theta = C(\xi - \sin \xi). \quad (6)$$

Если возникает необходимость учитывать влияние присоединенной оболочки, то продифференцируем дважды уравнение (5) по ξ и получим следующее дифференциальное уравнение:

$$\frac{d^2 \theta}{d\xi^2} + q^2 \theta = C \sin \xi.$$

Решением данного уравнения будет зависимость:

$$\theta = C_1 \sin q\xi + C_2 \cos q\xi + \frac{C}{q^2 - 1} \sin \xi,$$

в которой постоянные интегрирования C_1, C_2 можно вычислить из условий:

$$\theta(0) = 0, \quad \frac{d\theta}{d\xi} \left(\frac{\pi}{2} \right) = 0.$$

Поскольку, при этом $C_1 = C_2 = 0$, то с учетом влияния присоединенной оболочки угол закручивания фланца вычисляется по формуле:

$$\theta = \frac{C}{q^2 - 1} \sin \xi. \quad (7)$$

Если отсчет угловой координаты φ производить из точки установки болта (из точки А на рис. 1), то надо принять:

$$\xi = \pi / 2 - \zeta,$$

где ζ – безразмерная координата, отсчет которой ведется от места установки болта $\zeta = \pi \varphi / 2 \alpha$, а угловая координата φ отсчитываемая от точки установки болта.

В таком случае, зависимости (6) или (7) преобразуются к виду:

$$\theta = C\left(\frac{\pi}{2} - \zeta - \cos \zeta\right), \quad \theta = \frac{C}{q^2 - 1} \cos \zeta. \quad (8)$$

Поскольку на фланце установлено не один болт, для определения угла закручивания в зоне болта θ_b и между болтами θ_m необходимо суммировать составляющие, полученные по формулам (8) для всех болтов, которые находятся в интервале $\pm\alpha$ от рассматриваемого сечения.

Выводы.

При расчетах фланцевых соединений, имеющих малое число болтов, вместо зависимости (1) рекомендуется использовать зависимость:

$$\theta = \frac{\kappa_{bm} 12 M_{\phi} R}{E h^3 \ln(D_H / D)},$$

где κ_{bm} – коэффициент влияния шага болтов на угол закручивания фланца, который вычисляется по формуле:

$$\kappa_{bm} = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{\theta_b}{\theta_m} \right).$$

Список литературы: 1. Тимошенко С.П. Сопротивление материалов / С.П. Тимошенко. – М.: Изд. “Наука”, 1965. – Том II. – 480 с.

Поступила в редколлегию 25.03.04