XXXIII Неделя науки СПбГПУ. Материалы межвузовской научно-технической конференции. Ч.I: С.28-29, 2005.

УДК 532

А.Ю.Петров (5 курс, каф. ГТС), В.Н.Бухарцев, д.т.н., проф.

ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ БЕТОННЫХ СООРУЖЕНИЙ НА НЕСКАЛЬНОМ ОСНОВАНИИ ПРОТИВ СДВИГА С ПОВОРОТОМ

Обсуждаемая проблема возникает, например, при оценке устойчивости крайней секций бетонной плотины, испытывающей дополнительное воздействие со стороны, примыкающей к ней грунтовой плотины, когда равнодействующая всех сдвигающих сил не проходит через центр кручения в плоскости сдвига. Для оценки устойчивости используется схема предельных состояний с критерием прочности грунта основания по Ш.Кулону:

$$\tau_{пр} = f\sigma + c, \tag{1}$$

где $\tau_{пр}$ – предельное значение касательного напряжения на площадках контактной плоскости подошвы сооружения с основанием, σ – нормальное напряжение на тех же площадках, f и c – параметры прочности грунта основания.

Предполагается, что при потере устойчивости сооружение совершает поворот в плоскости подошвы относительно некоторого полюса p, изображенного на рисунке. Условия равновесия сил, действующих на сооружение в предельном состоянии, выражаются уравнениями:

$$\sum X = 0: \quad Q_x k_з - \int_A \tau_{пр} \cos\alpha \, dA = 0, \tag{2}$$

$$\sum Y = 0: \quad Q_y k_з - \int_A \tau_{пр} \sin\alpha \, dA = 0, \tag{3}$$

$$\sum M_p = 0: \quad \left[Q_x\left(y_Q - y_p\right) - Q_y\left(x_Q - x_p\right)\right]k_з - \int_A \tau_{пр}\rho \, dA = 0, \tag{4}$$

где Q_x, Q_y – компоненты сдвигающей силы в направлении координатных осей; x_Q, y_Q – плечи этих сил относительно центра тяжести сечения подошвы сооружения; $k_з$ – коэффициент запаса устойчивости, A – площадь подошвы; α – угол отклонения $\tau_{пр}$ от направления оси X (за положительное направление принят поворот против часовой стрелки); x_p, y_p – координаты полюса поворота.

Радиус-вектор ρ для элементарной силы $\tau_{пр}dA$ и тригонометрические функции определяются выражениями:

$$\rho = \pm\sqrt{\left(x - x_p\right)^2 + \left(y - y_p\right)^2}, \quad \sin\alpha = -\frac{x - x_p}{\rho}, \quad \cos\alpha = \frac{y - y_p}{\rho}. \tag{5}$$

Знак перед корнем в выражении для ρ совпадает со знаком крутящего момента сдвигающих сил относительно упомянутого центра кручения: плюс соответствует повороту по часовой стрелке, минус – в противоположном направлении. Крутящий момент определяется выражением:

$$M_{кр} = Q_x\left(y_Q - y_{кр}\right) - Q_y\left(x_Q - x_{кр}\right). \tag{6}$$

Координаты центра кручения, совпадающего с центром тяжести эпюры $\tau_{пр}$, построенной для всей площади подошвы, определяются выражениями:

$$x_{кр} = \frac{\int_A x\tau_{пр} dA}{\int_A \tau_{пр} dA}, \quad y_{кр} = \frac{\int_A y\tau_{пр} dA}{\int_A \tau_{пр} dA}. \tag{7}$$

Нормальные напряжения, действующие по подошве сооружения, можно определить по формуле внецентренного сжатия, которую удобно записать в виде:

$$\sigma = \frac{N}{A} + \frac{M_y}{J_y} x_p + \frac{M_x}{J_x} y_p + \frac{M_y}{J_y}\left(x - x_p\right) + \frac{M_x}{J_x}\left(y - y_p\right) . \qquad (8)$$

Для прямоугольной формы подошвы сооружения задача решается аналитически до конца. В систему уравнений (2), (3), (4) входят пять типов интегралов, выражающихся через конечное число элементарных функций:

$$\iint \frac{udu}{\sqrt{u^2+v^2}}\,dv; \quad \iint \frac{udu}{\sqrt{u^2+v^2}}\,v\,dv; \quad \iint \frac{u^2du}{\sqrt{u^2+v^2}}\,dv; \quad \iint \sqrt{u^2+v^2}\,du\,dv; \quad \iint u\sqrt{u^2+v^2}\,du\,dv .$$

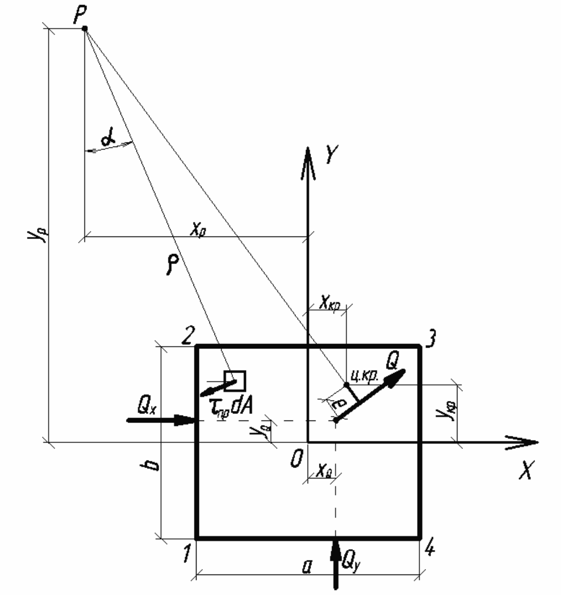

Рис. 1. Схема к оценке устойчивости против сдвига с поворотом.

В эту систему уравнений входят три неизвестные величины: коэффициент запаса, выражающийся явно из любого уравнения, и координаты полюса поворота сооружения, для вычисления которых итерационно используются два других уравнения, из которых предварительно исключается коэффициент запаса. Решение задачи возможно только с применением ЭВМ.