© О.В. Телегина, 2014

УДК 622.232

О.В. Телегина

АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ВОКРУГ КОРПУСА ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО ОРГАНА ПРОХОДЧЕСКОГО ЩИТА НЕКРУГЛОГО СЕЧЕНИЯ

Рассмотрена возможность определения напряженно-деформированного состояния вокруг поперечных сечений различных форм.

Ключевые слова: напряженно-деформированное состояние; поперечное сечение; выработка; теория упругости.

При проходке щитами тоннелей на корпус проходческого щита со стороны выработки действуют нагрузки. Корпус щита является несущей конструкцией, на которой монтируются все основные механизмы щита – исполнительный рабочий орган для разработки забоя, домкраты для передвижения щита и др. Корпус воспринимает нагрузки от горного давления и усилия, возникающие в период продвижения щита. Исполнительный орган представляет собой оболочку, которая испытывает нормальные напряжения. Расчет тонких оболочек известен, для круглых сечений он достаточно прост, однако для сечений некруглого очертания вызывает некоторые математические трудности.

При общей постановке задачи о напряженно-деформированном состоянии породного массива вокруг выработки, которая рассматривается как однородная изотропная среда, где под действием напряжений, вызванных проведением выработки, могут возникать упругие и неупругие деформации.

Для транспортных тоннелей достаточной длины решается задача, в которой рассматриваются напряжения и деформации в плоскости, перпендикулярной оси выработки. Деформации в направлении оси выработки полагают равными нулю.

Решение существенно упрощается в случае отсутствия объемных сил. Тогда подобного рода задачи обычно сводятся к получению и последующему сложению двух решений, что возможно по принципу суперпозиции для упругих напряжений. Первое решение – определение напряжений на контуре воображаемого отверстия заданной формы поперечного сечения в сплошном упругом изотропном массиве, находящемся под действием собственного веса. Второе – определение напряжений и перемещений в бесконечной невесомой области вокруг исследуемого отверстия, когда к его контуру приложены усилия равные напряжениям из первого решения. Сумма полученных решений дает искомые напряжения и перемещения вокруг отверстия в весомом массиве.

Кроме сложения двух напряженных состояний полагают, что плоскость, в которой лежит сечение выработки, бесконечна. Причем напряжения на бесконечности считаются равными напряжениям в ненарушенном массиве на данной глубине выработки. Такая замена объемных сил, конечно, вносит некоторую погрешность. Однако если, $H > = 20a$, то ошибка за счет пренебрежения собственным весом становится ничтожно малой (a – радиус сечения выработки, H – глубина выработки от дневной поверхности).

Так как расчет напряжений на контуре воображаемого отверстия достаточно прост (напряжения численно равны напряжениям в массиве пород до проведения выработки), то наибольшие математические трудности связаны с определением напряженного состояния вокруг отверстия в невесомой бесконечной плоскости с различными схемами нагружения. Эта зада еще более усложняется, если отверстие имеет некруговую форму поперечного сечения выработки.

В настоящей работе представлена идея, которая позволяет упростить определение напряженно-деформированного состояния вокруг поперечных сечений различных форм, а также определить напряжения в обделке тоннелей некругового очертания.

Суть данной идеи заключается в том, чтобы расчет подземных сооружений некругового поперечного очертания свести в подобной задаче для кругового очертания, проиллюстрировав на двух одномерных задачах теории упругости.

Первой является задача, представляющая собой пластинку эллиптического отверстия, когда ее короткая полуось параллельна направлению растяжения. Ее решение впервые дали С.Е. Инглис и Г.В. Колосов в 1914 г. В этом случае максимальные значения нормально-тангенциальных напряжений возникают в точках контура отверстия у большой полуоси эллипса.

$$\sigma_\theta = P\left(1 - 2\frac{a}{b}\cos 2\theta\right),$$

где P – интенсивность напряжений, действующих в пластине на бесконечности; a и b – соответственно, большая и малая полуоси эллипса; θ – полярный угол.

Второй рассмотрим задачу Кирша, которая позволяет установить картину распределения напряжений вокруг круглого отверстия радиусом $R_в$ односторонне растянутой пластинке.

$$\sigma_\theta = \frac{P}{2}\left(1 + \frac{R^2}{r^2}\right) - \frac{P}{2}\left(1 + \frac{3R^4}{r^4}\right)\cos 2\theta,$$

где r – полярный радиус. Остальные обозначения те же, что и в предыдущем случае.

Допустим, в эллипсе центр координатных осей лежит в центре эллипса. Ось OX направлена в сторону малой полуоси эллипса. Тогда $\cos 2\theta = -1$.

Рассмотрим конкретные случаи.

Когда $a = 2b$, $b = R$, тогда максимальное нормально-тангенциальное напряжение по точному методу $\sigma_{\theta max} = 5P$. В случае круглого отверстия $\sigma_{\theta max} = 3P$, к которому надо прибавить еще значение σ_θ при $r = 2R$, т.е. $\sigma_\theta = 1{,}25P$. Окончательно, максимальное напряжение будет равно:

$$\sigma_{\theta max} = 3P + 1{,}25P = 4{,}25P$$

Расхождение в значениях между напряжениями, полученными по упрощенному способу и точным методом, составляет 15%.

Рассмотрим момент, когда $a = 3b$, $b = R$. Тогда значение точным методом составляет $\sigma_{\theta max} = 7P$, предложенным $\sigma_{\theta max} = 7{,}07P$. В этом случае расхождение равно всего 1%.

И, наконец, когда $a = 4b$, $b = R$. В этом случае по точному методу будем иметь $\sigma_{\theta max} = 9{,}0P$, а по предложенному – $\sigma_{\theta max} = 10{,}0P$. Следовательно, расхождение составит 11%.

В результате можно составить формулу, которая позволит рассчитать напряженное состояние при любом профиле.

$$\sigma_\theta = \frac{P}{2}\left\{2 - 4\cos 2\theta + \left[\left(1 - \frac{R^4}{a^4}\right) - \left(1 - \frac{R^2}{a^2}\right)\left(1 + \frac{3R^4}{a^4}\right)\cos 2\theta\right]\sin^2\theta\right\} =$$

$$= \frac{P}{4}\left[5 - \frac{R^4}{a^4} - \left(9 - \frac{R^4}{a^4}\right)\cos 2\theta - \left(1 - \frac{R^2}{a^2}\right)\left(1 + \frac{3R^4}{a^4}\right)\right](1 - \cos 2\theta)\cos 2\theta,$$

где R – радиус вписанной окружности или как полупролет выработки, a – радиус окружности, описанной вокруг отверстия пластинки.

Следует отметить, что данная формула применима в том случае, когда отношение радиуса вписанной окружности к описанной лежит в пределах от 0,5 до 1.

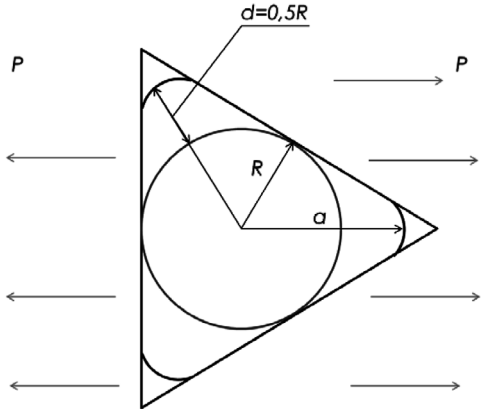

Рис. 1

$$0{,}5 < R/a \le 1$$

По данной формуле можно рассчитать не только овальное сечение, но и сечение в виде усеченного треугольника (рис. 1).

В этом случае максимальное напряжение равно $\sigma_{\theta max} = 3{,}56P$, а значение, полученное по предложенному способу $\sigma_{\theta max} = 3{,}62P$. Расхождение составляет 1,6%, что вполне приемлемо для инженерных расчетов.

Также проведем расчеты напряжений для сечения, образованного но-

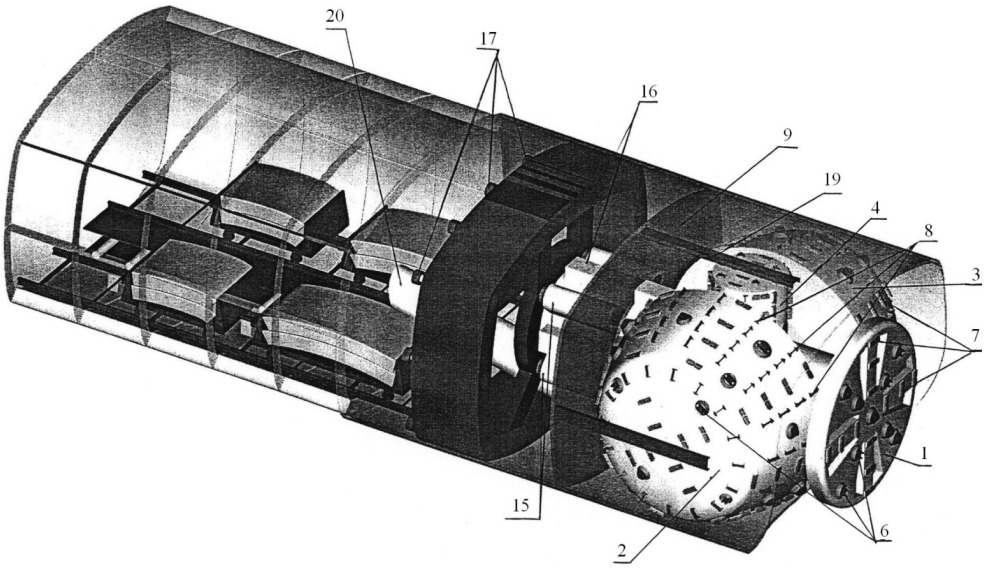

Рис. 2

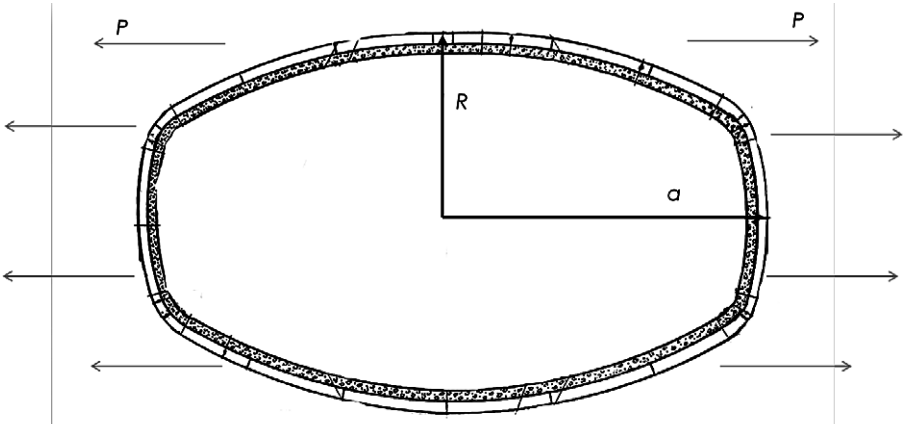

Рис. 3

вым овальным телескопическим исполнительным органом проходческого щита (рис. 2).

Сечение получается вытянутым вдоль горизонтальной оси (рис. 3), что обеспечивает рациональное использование его площади.

Здесь максимальное нормально-тангенциальное напряжение точным методом будет равно $\sigma_{\theta max} = 4{,}33P$, а предложенным $\sigma_{\theta max} = 4{,}37P$. Расхождение всего составит около 1%.

Эти формулы позволяют решать некоторые задачи механики подземных сооружений и исследовать применимость их при проходке выработок различного сечения.

КОРОТКО ОБ АВТОРЕ

Телегина Оксана Вячеславовна – доцент,
МГИ НИТУ «МИСиС», *e*-mail: ud@msmu.ru.

UDC 622.232

ANALYSIS OF THE STRESS STATE AROUND THE BODY OF THE EXECUTIVE BODY OF THE TUNNEL SHIELD OF NON-CIRCULAR CROSS-SECTION

Telegina O.V., Assistant Professor,
Moscow Mining Institute, National University of Science and Technology «MISiS», *e*-mail: ud@msmu.ru.

The opportunity of definition of stress-strain state around the cross-sections of various forms. Presents the idea that simplify the determination of the stress-strain state around the cross-sections of various forms, and to determine stresses in the lining of tunnels of non-circular shape. The essence of this idea consists in the calculation of underground constructions of non-circular cross shape to bring in a similar problem for a circular shape and illustrated on two-dimensional problems of elasticity theory. The formulas presented, allowing to solve some problems of mechanics of underground structures and explore the applicability of them when driving workings of different sections.

Key words: the stress-strain state; cross-section; excavation, the theory of elasticity.