Колоколов С.Б.

ОБ ОПРЕДЕЛЕНИИ ДАВЛЕНИЯ ГРУНТА НА СТЕНКИ ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Рассматривается методика определения давления грунта на стенки подземных сооружений, когда непосредственное применение теории Кулона даёт неоправданно завышенные результаты. Учитываются размеры области предельных состояний грунта. Приводятся примеры применения методики.

Согласно теории Кулона давление грунта на подпорную стенку определяется из условия предельного равновесия призмы ABC (рис.1). Интенсивность давления на уровне точки B равно (см., например,[1])

$$P = g\,h\,m\,, \qquad (1)$$

где g - объёмный вес грунта,
h - глубина расположения точки B,
m - коэффициент бокового давления грунта

$$\mu = tg^2 \cdot \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}\right), \qquad (2)$$

φ - угол внутреннего трения грунта.

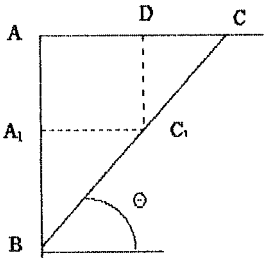


Рисунок 1

Согласно той же теории нагружение поверхности AC распределенной нагрузкой q эквивалентно увеличению высоты стенки на величину $h_1 = q/g$, т.е. давление на стенку

$$P = g\,(h + h_1)\,m \qquad (3)$$

Если пригруз создается слоем грунта с тем же объёмным весом и высотой $h_п$, то $h_1 = h_п$. Следовательно, давление на стенку в точке B можно, например, представить как давление на стенку высотой AB с учетом дополнительного нагружения слоем высотой AA_1 .

Рассмотрим теперь задачу определения давления грунта на стенку AB, если засыпка ограничена справа ещё одной стенкой C_1D. Рассуждая аналогично предыдущему можно придти к выводу, что давление на уровне точки B будет определяться той же формулой (1) .

Поскольку ширина засыпки (A_1 C_1) непосредственно в формулу не входит, то, следовательно, давление на стенку от неё не зависит.

Это справедливо лишь в том случае, если не учитываются силы трения на поверхностях AA_1 и CD_1 , или они очень малы. Так, например, не вызывает сомнения применимость формулы (1) при m= 1 для определения давления жидкости на ту же стенку. В этом случае ширина зазора между стенками начинает сказываться при достижении капиллярных размеров. Для грунтов пренебрежение силами трения о стенки возможно лишь при достаточно большой ширине засыпки.

Следуя теории Кулона нетрудно определить величину полного давления на стенку высотой AA_1. Обозначая эту высоту $h_п$ имеем:

$$P = g\,h^2_п\,m / 2 \qquad (4)$$

Приняв для упрощения коэффициент трения на поверхностях AA_1 и CD_1 одинаковым и равным $tg\varphi_1$ можно найти силы трения, уменьшающие давление пригруза высотой $h_п$ на призму A_1 B C_1

$$T = 2\,P\,tg\varphi_1\,, \qquad (5)$$

а результирующая равнодействующая вертикальных сил от пригруза,

приходящаяся на единицу длины стенки

$$N = g\,h_п\,a\,(1 - h_п\,m\,tg\varphi_1 / a), \qquad (6)$$

Эквивалентная высота слоя грунта шириной а составит

$$h_1 = h_п\ (1- m\ tg\varphi_1\ )\ Ч\ h_п\ /a, \quad (7)$$

Для значения угла внутреннего трения j = 30°

$$h_1 » h_п\ (1- 0{,}2\ h_п\ /a), \quad (8)$$

следовательно при а >2$h_п$ трением можно пренебречь, а при $h_п$ > 5а формула теряет смысл.

Высота слоя, обеспечивающая максимальную величину пригруза при фиксированной ширине засыпки

$$h_п = a\ /\ (2\ m\ tg\varphi_1\ ), \quad (9)$$

а соответствующая эквивалентная высота

$$h_1 = a\ /\ (4\ m\ tg\varphi_1\ ), \quad (10)$$

Таким образом, величина давления на стенку на уровне точки В (при наличии второй стенки C_1 D) определится формулой

$$P = g\ (\ h + \frac{\alpha}{4\mu + tq\varphi_1}\ )\ m, \quad (11)$$

где h - высота стенки A_1B.

Величину h можно выразить через ширину а и угол наклона плоскости скольжения к горизонту, который согласно теории Кулона равен

$$\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2}:$$

$$h = \alpha \cdot ctq\,(\frac{\pi}{4} + \frac{\pi}{2}) \quad (12)$$

Но $\quad ctq(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2}) = tq(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}) = \sqrt{\mu}$,

откуда

$$h = \alpha \cdot \sqrt{\mu} \quad (13)$$

Подставляя (13) в (11), имеем

$$P = g\ a\ (\sqrt{\mu} + \frac{\alpha}{4\mu + tq\varphi_1}\ )\ m \quad (14)$$

Очевидно, что эта формула применима лишь в том случае, если

$$\alpha \le h \cdot tq(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2}), \quad (15)$$

При невыполнении этого условия нужно пользоваться формулой (1).

Условие (15), однако, может быть выполнено и в случае отсутствия второй стенки. При создании выемки в грунте для строительства сооружения заглубленного типа напряженное состояние грунта изменяется, вследствие чего часть его переходит в предельное состояние и способна сползти в выемку. При отсутствии сцепления эта часть и является призмой сползания по Кулону. При наличии сцепления размеры области предельного состояния тем меньше, чем больше сцепление. В достаточно прочных грунтах эта область может вообще отсутствовать. Размеры области также существенно зависят от размеров (протяженности) сооружения (стенки). Кстати, размеры призмы сползания по теории Кулона соответствуют бесконечно большой протяженности стенки. При длине стенки, соизмеримой с глубиной область предельного состояния распространяется на расстояние не более половины длины стенки [2]. Часть грунта, находящаяся за пределами области предельного состояния является устойчивой и при сползании неустойчивой части выполняет роль второй подпорной стенки.

Условием перехода в предельное состояние является уравнение Кулона - Мора, которое для поверхностей скольжения имеет вид

$$StS=s\ tqj + K \quad (16)$$

где К - сцепление грунта.

Предельное состояние характеризуется преодолением касательными напряжениями сил сцепления грунта, в результате чего оно снижается практически до нуля, что дает возможность применять теорию Кулона. Тогда давление на стенку сооружения можно определять по формуле (11). Величина а здесь равна ширине области предельного состояния. Угол трения j_1 можно приближенно принимать равным углу внутреннего трения. Определение размеров области предельного состояния является достаточно сложной задачей. Представляется возможным использовать для этого решение задачи об определении зоны неупругих деформаций вокруг круглого отверстия в плоскости, находящейся в состоянии всестороннего сжатия. Радиус этой зоны при отсутствии отпора изнутри отверстия равен [3]

$$R = R_0\ \left(\frac{P_0 + K\,ctq\,\varphi}{K\,ctq\,\varphi}\left(1 - \sin\varphi\right)\right)^{\frac{1-\sin\varphi}{2\sin\varphi}} \quad (17)$$

где R_0 -радиус отверстия,

P_0- внешние напряжения, сжимающие плоскость с отверстием.

Величина P_0 может быть принята равной распору в сыпучем теле

$$P_0 = g\ h\ m, \qquad (18)$$

где h - глубина, на которой определяется размер зоны предельного состояния.

Для сооружения, имеющего в плане форму, отличающуюся от круга, можно в качестве величины R_0 принять радиус окружности, описанной вокруг выемки, сделанной в грунте для возведения сооружения.

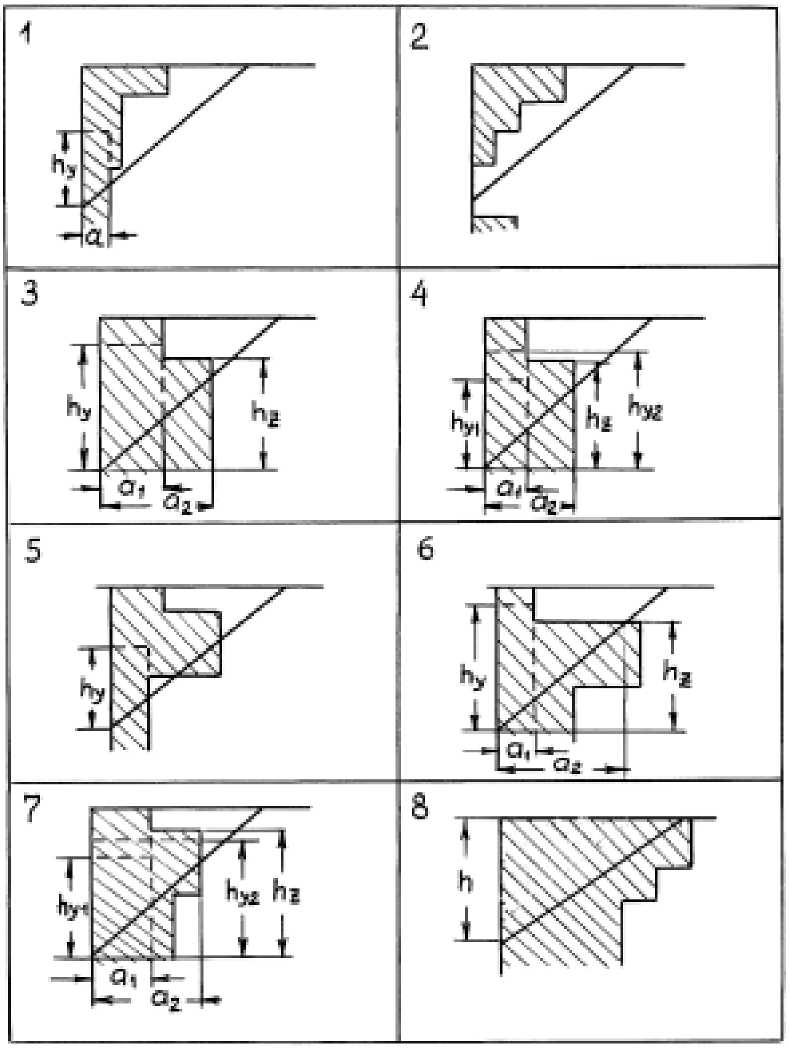
Определяя размеры зоны неупругих деформаций для горизонтальных сечений, расположенных на разной глубине, можно построить конфигурацию области предельного состояния грунта в вертикальной плоскости. Поскольку величина радиуса R зависит как от глубины, так и от прочностных свойств грунта, то форма области имеет при чередовании слоев с разными свойствами достаточно сложную конфигурацию. Ширина области

$$a = R - B_0\ , \qquad (19)$$

где B_0 -размер сооружения в рассматриваемой плоскости, отсчитываемой от центра описанной окружности с радиусом R_0, использованным при вычислении R по формуле (17). В пределах одного слоя для упрощения ширину области можно считать одинаковой и равной a для нижнего сечения слоя. Тогда область предельных состояний будет ограничена отрезками вертикальных и горизонтальных линий.

При определении величины интенсивности давления на стенку могут возникнуть различные варианты, представленные на схемах, изображенных на рис.2. На схемах показаны области предельных состояний грунта (заштрихованы) и плоскость сползания, выходящая из точки A расположенной на стенке (вернее - линия пересечения плоскости сползания с вертикальной плоскостью). Ниже рассмотрено определение интенсивности давле-

Рисунок 2



ния на уровне точки А.

Схема 1. Величина давления определяется по формуле (14).

Величина

$$h_y = a\left(\sqrt{\mu} + \frac{1}{4\mu tq\varphi}\right), \qquad (20)$$

в дальнейшем называется условной высотой стенки.

Схема 2. Здесь точка А попадает в устойчивую зону (а=0), и давление со стороны грунта отсутствует.

Схема 3. В этом случае два варианта расчета - при $a = a_1$ и при $a = a_2$.

Сначала следует найти h_y при $a=a_1$. Если $h_y > h_z$ то давление определяется по формуле (14) при $a=a_1$.

Схема 4. Здесь последовательность действий аналогична схеме 3, но $h_{y1}<h_z$. Теперь следует вычислить h_{y2} при $a=a_2$ и, если полученное $h_{y2}>h_z$,

найти давление по формуле

$$R = g\left(h_z + \frac{\alpha_1}{\alpha_2}(h_{y2} - h_z)\right) m, \qquad (21)$$

Второе слагаемое в скобке учитывают пригруз от участка грунта, шириной $a_1 < a_2$.

Схема 5. Давление определяется аналогично схеме 1 по формуле (14).

Схема 6. Здесь определяется h_y при $a=a_1$ и давление рассчитывается по формуле

$$R = g\left(h_z + \frac{\alpha_1}{\alpha_2}(h_y - h_z)\right) m, \qquad (22)$$

Схема 7. Здесь условная высота, определенная при $a=a_2$, меньше h_z и давление рассчитывается по формуле (14) при $a=a_2$.

Схема 8. Давление на уровне точки А определяется по формуле (1).

Список использованной литературы

1. Цытович Н.А. Механика грунтов. - Высшая школа, 1979.
2. Бобриков Б.В. Активное давление сыпучего тела на подпорные стенки ограниченной длины. Труды МИИТ, вып.77, М., 1952.
3. Булычев Н.С. Механика подземных сооружений .-М.: Недра,1982.

Статья поступила в редакцию14.01.2000г.