

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ДАВЛЕНИЯ НЕОДНОРОДНОГО АНИЗОТРОПНОГО ГРУНТА ВДОЛЬ ТЫЛОВОЙ ГРАНИ ПОДПОРНОЙ СТЕНКИ

Войтенко И.В., к.т.н., доц.

Одесская государственная академия строительства и архитектуры

Подпорные стенки относятся к сооружениям, широко применяемым в различных отраслях строительства. Основной функциональной нагрузкой, воспринимаемой стенкой в период эксплуатации, является давление грунта, как правило дополняемое поверхностными временными и постоянными нагрузками. Как показывает практика, строительство подобных сооружений осуществляется в условиях неоднородных грунтовых оснований. Многочисленные исследования, проведенные в лабораторных и натурных условиях, свидетельствуют о наличии анизотропии прочностных характеристик слоистых грунтовых оснований.

На основании основных предпосылок классической теории Ш. Кулона были получены зависимости для определения активного давления анизотропного грунта произвольного слоя на крутую подпорную стенку, взаимодействующую со слоистым анизотропным основанием при произвольной ориентации плоских границ грунтовых слоев [1, 2, 3].

Анизотропия прочностных свойств представлена годографами угла внутреннего трения и сцепления на вид которых не накладываются ограничения. Выводы получены с учетом сейсмических воздействий в рамках статической теории.

Решение для активного давления произвольного слоя получено в виде безразмерных коэффициентов, т.е. результирующая активного давления представлена в виде суммы трех составляющих, первая из которых $N_{\gamma,n}$ характеризует боковое давление от собственного веса анизотропного грунта, вторая $N_{q,n}$ – от поверхностной нагрузки, третья $N_{c,n}$ – от сцепления связного грунта основания:

$$E_{a,n} = \gamma_n h_n^2 N_{\gamma,n} (1 + N_{cor,n}) + q_{n,c} h_n N_{q,n} + c_n (\beta_{1,n}) h_n N_{c,n}, \quad (1)$$

где γ_n – удельный вес n-го слоя; h_n – высота стенки при ее проекции на вертикаль; $c_n = c_n (\beta_{1,n})$ – сцепление на поверхности n-го слоя при ориентации площадки $\beta_{1,n}$, принятое базовым; $q_{n,c}$ – равномерно распределенная на поверхности n-го слоя нагрузка, определенная с учетом сейсмического воздействия.

Основные зависимости получены из условия предельного равновесия грунтовой призмы при ее сползании на стенку по поверхности скольжения, представляющей собой плоскость.

Отметим, что вес верхних слоев заменялся поверхностной нагрузкой $q_{n,c}$, которая для упрощения выводов принималась условно равномерно распределенной. Действительный характер распределения уточняется в процессе построения эпюр.

Для случая произвольной ориентации боковой поверхности стенки, воспринимающей давление грунта, найдены проекции составляющей активного давления на оси X и Y, дифференцируя которые, получены зависимости для построения эпюр активного давления:

$$\left. \begin{aligned} e_{a,n,x} &= \frac{dE_{a,n,x}}{dy} = (2\gamma_n y N_{\gamma,n} + q_{n,c} N_{q,n} + \\ &+ c_n (\beta_{1,n}) N_{c,n}) (-\sin(\beta_3 + \delta_n(\beta_3))); \\ e_{a,n,y} &= \frac{dE_{a,n,y}}{dx} = (2\gamma_n x N_{\gamma,n} + q_{n,c} N_{q,n} + \\ &+ c_n (\beta_{1,n}) N_{c,n}) \cos(\beta_3 + \delta_n(\beta_3)) \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Характер распределения активного давления произвольного n-го слоя вдоль осей X и Y представлен на рис. 1.

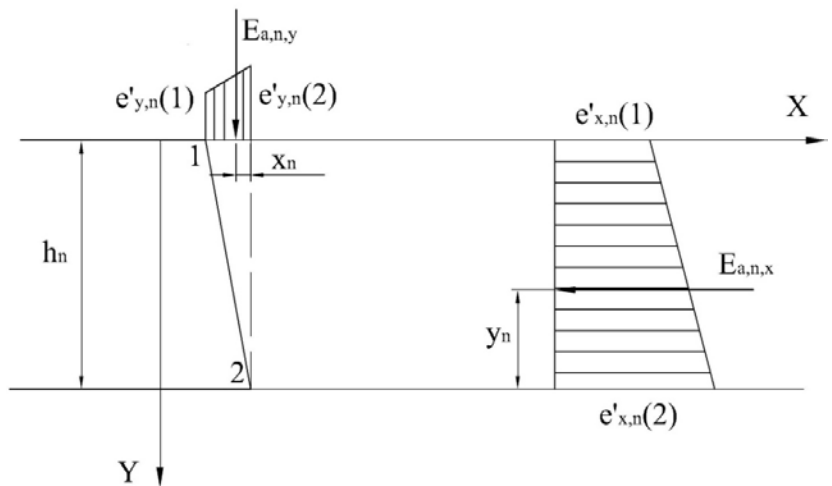


Рис. 1. Построение эпюр активного давления произвольного n-го слоя

Как отмечено выше, вес грунтовых слоев заменялся условно равномерно распределенной нагрузкой, которая принималась осредненной по площадке распределения, ограниченной поверхностью скольжения. Для построения эпюр активного давления выяснялись

поправки внешнего давления в характерных точках, соответствующих границам слоев, которые, учитывая условность распределения, должны быть численно равны и противоположны по направлению.

Уточненные ординаты на границах слоя определяются из выражений:

$$\left. \begin{aligned} e'_{x,n}(1) &= (2\gamma_n(h_1 + h_2 + \dots + h_{n-1})N_{\gamma,n} + q'_{n,c}(A_n)N_{q,n} + \\ &+ c_n(\beta_{1,n})N_{c,n})(-\sin(\beta_3 + \delta_n(\beta_3))); \\ e'_{x,n}(2) &= (2\gamma_n(h_1 + h_2 + \dots + h_n)N_{\gamma,n} + q'_{n,c}(D_n)N_{q,n} + \\ &+ c_n(\beta_{1,n})N_{c,n})(-\sin(\beta_3 + \delta_n(\beta_3))); \\ e'_{y,n}(1) &= (2\gamma_n(h_1 + h_2 + \dots + h_{n-1})tg\xi N_{\gamma,n} + q'_{n,c}(A_n)N_{q,n} + \\ &+ c_n(\beta_{1,n})N_{c,n})\cos(\beta_3 + \delta_n(\beta_3)); \\ e'_{y,n}(2) &= (2\gamma_n(h_1 + h_2 + \dots + h_n)tg\xi N_{\gamma,n} + q'_{n,c}(D_n)N_{q,n} + \\ &+ c_n(\beta_{1,n})N_{c,n})\cos(\beta_3 + \delta_n(\beta_3)) \end{aligned} \right\} , \quad (3)$$

где $\xi = (\beta_3 - 1,5\pi)$ при $\beta_3 > 1,5\pi$; $\xi = (1,5\pi - \beta_3)$ при $\beta_3 < 1,5\pi$, β_3 – ориентация стенки относительно оси отсчета.

В выражении (3) значения поверхностной нагрузки в характерных точках A_n и D_n , ограничивающих площадку распределения поверхностной нагрузки над призмой обрушения, определяются с учетом сейсма следующим образом:

$$\begin{aligned} q'_{n,c}(A_n) &= \frac{q'_n(A_n)(\cos \Delta_n - \alpha \sin \chi)}{\cos \omega_{q,n}^*}; \\ q'_{n,c}(D_n) &= \frac{q'_n(D_n)(\cos \Delta_n - \alpha \sin \chi)}{\cos \omega_{q,n}^*}, \end{aligned} \quad (4)$$

где $\omega_{q,n}$ – угол сейсма для нагрузки $q_{n,c}$ относительно направления ее действия; ρ_n – угол ориентации нагрузки q_n относительно нормали к поверхности n -го слоя; α – коэффициент сейсмичности, представляющий собой произведение коэффициентов, учитывающих функциональную ответственность сооружения и сейсмичность района строительства на коэффициент динамичности, зависящий от категории грунта и периода собственных колебаний системы [4]; χ – угол наклона сейсмической силы к горизонту. Δ_n – угол отклонения равнодействующей поверхностной нагрузки от вертикали.

Суммарная распределенная нагрузка на подстилающий слой в характерных точках A_n и D_n :

$$q'_n(A_n) = \sqrt{q^2 + (q_n + \sum \Delta q_{n-k}(A_n))^2 - 2q(q_n + \sum \Delta q_{n-k}(A_n)) \cos(\beta_{1,1} - \rho)}; \quad (5)$$

$$q'_n(D_n) = \sqrt{q^2 + (q_n + \sum \Delta q_{n-k}(D_n))^2 - 2q(q_n + \sum \Delta q_{n-k}(D_n)) \cos(\beta_{1,1} - \rho)}. \quad (6)$$

Суммарная поправка из выражения (5) определяется формулой:

$$\sum \Delta q_{n-k}(A_n) = [\pm \Delta q_{n-1} \pm \Delta q_{n-2} \pm \dots \pm \Delta q_{n-k}] = \sum_{k=1}^{n-1} \pm \Delta q_{n-k}. \quad (7)$$

Суммарная поправка из выражения (6) определяется формулой:

$$\sum \Delta q_{n-k}(D_n) = [\mp \Delta q_{n-1} \mp \Delta q_{n-2} \mp \dots \mp \Delta q_{n-k}] = \sum_{k=1}^{n-1} \mp \Delta q_{n-k}. \quad (8)$$

В выражениях (7) и (8) выбор знака зависит от ориентации поверхностей скольжения верхних слоев, а k - количество слоев над n -ым слоем, $k = 0-(n-1)$.

Определяя поправки на границах площадок распределения нагрузки q_{n-k} , получена формула для поправочного параметра произвольного $(n-k)$ -го слоя:

$$\Delta q_{n-k} = \frac{1}{2} \gamma_{n-k} h_n \frac{\sin(\beta_3 - \beta_{1,1})}{-\sin \beta_3} P_{n-k} H_{n-k} T, \quad (9)$$

Зависимости для коэффициентов H_{n-k} , P_{n-k} и T ввиду их громоздкости не приводятся.

Результирующие давления вдоль соответствующих осей определяются из выражений:

$$E_{a,n,x} = \frac{e'_{x,n}(1) + e'_{x,n}(2)}{2} h_n; \quad E_{a,n,y} = \frac{e'_{y,n}(1) + e'_{y,n}(2)}{2} h_n \operatorname{tg} \xi, \quad (10)$$

Для оценки устойчивости подпорной стенки определены точки приложения проекций составляющих активного давления:

$$y_n = \frac{2e'_{x,n}(1) + e'_{x,n}(2)}{3(e'_{x,n}(1) + e'_{x,n}(2))} h_n; \quad x_n = \frac{2e'_{y,n}(1) + e'_{y,n}(2)}{3(e'_{y,n}(1) + e'_{y,n}(2))} h_n \operatorname{tg} \xi. \quad (11)$$

Выводы

Таким образом, эпюры активного давления вдоль горизонтальной и вертикальной осей соответствует классическому варианту и позволяют определить равнодействующие активного давления грунтового слоя как площади соответствующих эпюр, а также найти точки приложения

равнодействующих давления, что позволяет произвести оценку общей устойчивости стенки.

Кроме того, характер распределения активного давления существенным образом зависит от ориентации и вида годографов прочностной анизотропии, а также от степени анизотропии характеристик сопротивления сдвигу. Это подтверждает необходимость учета анизотропии прочности грунтовых оснований и засыпок при решении задач взаимодействия грунта с подпорными сооружениями.

Summary

The features of construction of epures of active pressure of soil on a retaining wall are considered in the article taking into account the anisotropy of strength characteristics. The dependences are got for determination of resultants of pressure of arbitrary layer along the proper axes, and also points of their applications. That allows to carry out the estimation of stability of retaining wall.

1. Школа А.В. Учет анизотропии многослойного грунта при определении активного давления на подпорные стены с учетом сейсмических воздействий / А.В. Школа, И.В. Войтенко // Вестник Одесской государственной академии строительства и архитектуры. - Выпуск №4. - Одеса, 2001. - С. 394-407.

2. Войтенко И.В. Учет нагрузки при определении бокового давления неоднородного анизотропного грунта / И.В. Войтенко // Збірник наукових праць. Полтавський національний технічний університет ім. Кондратюка. - Вип. №12. - Полтава, 2003. С. 39-46.

3. Войтенко И.В. Определение результирующей произвольно ориентированной поверхностной нагрузки в расчетах бокового давления многослойного анизотропного грунта при сейсме / И.В. Войтенко // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. - Вип. № 14. - Одеса, 2004. С. 69-75.

4. Будівництво у сейсмічних районах України : ДБНВ.1.1-12:2006 / Захист від небезпечних геологічних процесів, шкідливих експлуатаційних впливів, від пожежі. – К. : Міністерство будівництва, архітектури та житлово-комунального господарства України, 2006. – 92 с.