

*И.В. Войтенко, к.т.н., приват-доцент
Одесская государственная академия строительства и архитектуры*

СЕЙСМИЧЕСКИЙ ФАКТОР В РАСЧЕТАХ БОКОВОГО ДАВЛЕНИЯ НЕОДНОРОДНЫХ АНИЗОТРОПНЫХ ГРУНТОВЫХ ОСНОВАНИЙ

Получены зависимости для определения поверхностной нагрузки с учетом сейсмического воздействия в контактных задачах многослойных анизотропных грунтовых оснований.

Ключевые слова: *сейсмическое влияние, неоднородное основание, прочностная анизотропия.*

*I.V. Vojtenko, k.t.n., privat-dotsent
Odeska derzhavna akademiya budivnitsva ta arkhitekturi*

СЕЙСМІЧНИЙ ЧИННИК У РОЗРАХУНКАХ БІЧНОГО ТИСКУ НЕОДНОРІДНИХ АНІЗОТРОПНИХ ҐРУНТОВИХ ОСНОВ

Отримано залежності для визначення поверхневого навантаження з урахуванням сейсмічної дії в контактних завданнях багатослойових анізотропних ґрунтових основ.

Ключові слова: *сейсмічний вплив, неоднорідна основа, міцнісна анізотропія.*

*I.V. Vojtenko, Ph.D.
Odessa State Academy of Building and Architecture*

SEISMIC FACTOR IN CALCULATIONS OF LATERAL PRESSURE OF HETEROGENEOUS ANISOTROPIC SOIL'S GROUNDS

Dependences are got for determination of the superficial loading taking into account seismic influence in the contact tasks of multi-layered anisotropic soil's grounds.

Keywords: *seismic influence, heterogeneous foundation, anisotropy of strength.*

Введение. Грунтовые основания, взаимодействующие с подземными конструктивными элементами зданий и сооружений, как правило, характеризуются неоднородностью литологического состава. Многочисленные экспериментальные исследования, проведенные в лабораторных и натуральных условиях, подтверждают наличие прочностной анизотропии слоистых оснований.

В настоящий период особое значение приобретает учет сейсмического влияния при проектировании и строительстве зданий и сооружений. Таким образом, строительство в сложных геотехнических условиях предполагает комплексный подход с учетом всех неблагоприятных факторов.

Обзор последних источников исследований и публикаций. Современная отечественная нормативная база не содержит рекомендаций по учету анизотропных свойств грунтов при определении нагрузок на контактирующие сооружения, испытывающие сейсмическое влияние. Опыт проектирования и строительства распорных сооружений с учетом прочностной анизотропии свидетельствует о возможности снижения затрат за счет неучтенных резервов, характерных для традиционных расчетных схем.

Зарубежные руководства по проектированию сооружений, испытывающих боковое давление грунта в комбинации с сейсмическим воздействием, в основе своей полагаясь на статическую теорию, также не учитывают анизотропию грунтовых оснований [1].

В работах [2 – 4] приведена методика определения бокового давления неоднородного анизотропного грунта на подпорные сооружения, позволяющая рассчитать давление произвольно ориентированных грунтовых слоев в сложных геотехнических условиях с учетом сейсмического воздействия. Для вывода основных зависимостей использовалась методика Ш. Кулона, рассматривающая предельные поверхности в виде плоскостей.

В дальнейшем проводилось численное исследование влияния анизотропии прочности на составляющие активного давления неоднородной грунтовой засыпки на подпорную стенку [5]. В качестве показателей прочностной анизотропии использовались годографы угла внутреннего трения и сцепления слоев. Результаты численного анализа подтвердили существенное влияние ориентации плоскости слоистости годографов на величину бокового давления грунта.

Постановка задачи. В настоящей работе рассмотрены особенности учета сейсмического фактора в контактных задачах определения активного давления и пассивного отпора многослойного анизотропного грунтового основания.

Основной материал и результаты. Боковое давление произвольного n-го слоя анизотропного по прочностным показателям грунтового основания определяется зависимостью

$$E_n = \gamma_n h_n^2 N_{\gamma,n} (1 + N_{cor,n}) + q_{n,c}^{12} h_n N_{q,n} + c_n (\beta_{1,n}) h_n N_{c,n}, \quad (1)$$

где γ_n – удельный вес n-го грунтового слоя; h_n – высота слоя при ее проекции на вертикаль; $c_n = c_n(\beta_{1,n})$ – базовое сцепление n-го слоя при его ориентации $\beta_{1,n}$;

$$N_{\gamma,n} = \pm \frac{1}{2} \frac{\sin(\beta_3 - \beta_{1,1}) \sin(\beta_3 - \beta_{2,n}) \sin(\varphi_n(\beta_{2,n}) - \omega_{\gamma,n} \mp \beta_{2,n})}{\sin^2 \beta_3 \sin(\beta_{2,n} - \beta_{1,1}) \sin(\beta_3 \pm \varphi_n(\beta_{2,n}) - \beta_{2,n} \pm \delta_n(\beta_3))}; \quad (2)$$

$$N_{q,n} = \frac{\sin(\beta_3 - \beta_{2,n}) \sin(\beta_{1,1} - \beta_{2,n} \mp \rho_n \mp \omega_{q,n} \pm \varphi_n(\beta_{2,n}))}{\sin \beta_3 \sin(\beta_{2,n} - \beta_{1,1}) \sin(\beta_3 \pm \varphi_n(\beta_{2,n}) - \beta_{2,n} \pm \delta_n(\beta_3))}; \quad (3)$$

$$N_{c,n} = \left\{ \frac{\sin(\beta_3 - \beta_{2,n}) \sin(\beta_{1,n} - \beta_{2,n} \pm \varphi_n(\beta_{2,n}))}{\sin(\beta_{2,n} - \beta_{1,n}) \operatorname{tg} \varphi_n(\beta_{1,n})} + \frac{c_n(\beta_3) \sin(\beta_3 \pm \varphi_n(\beta_{2,n}) - \beta_{2,n})}{c_n(\beta_{1,n}) \operatorname{tg} \varphi_n(\beta_3)} + \frac{\sin(\beta_3 - \beta_{1,1}) \sin(\pm \varphi_n(\beta_{2,n}))}{\sin(\beta_{2,n} - \beta_{1,1})} (1 + N_{cor,n}) \left[\frac{c_n(\beta_{2,n})}{c_n(\beta_{1,n})} \operatorname{ctg} \varphi_n(\beta_{2,n}) - \operatorname{ctg} \varphi_n(\beta_{1,n}) \right] \right\} \times$$

$$\times \frac{1}{\sin \beta_3 \sin(\beta_3 \pm \varphi_n(\beta_{2,n}) - \beta_{2,n} \pm \delta_n(\beta_3))}; \quad (4)$$

$$N_{\text{cor},n} = \frac{\sin(\beta_3 - \beta_{2,n}) \sin(\beta_{1,n} - \beta_{1,1})}{\sin(\beta_3 - \beta_{1,1}) \sin(\beta_{2,n} - \beta_{1,n})}, \quad (5)$$

где β_3 – угол ориентации стенки; $\beta_{1,n}$ – угол ориентации поверхности засыпки или грунтового основания; $\beta_{2,n}$ – угол ориентации поверхности обрушения или выпора; $\delta_n(\beta_3)$ – угол шероховатости (трения грунта о материал стенки); ρ_n – угол ориентации нагрузки q_n относительно нормали к поверхности n -го слоя; $\omega_{\gamma,n}$, $\omega_{q,n}$ – углы сейсма соответственно для объемных сил и нагрузки $q_{n,c}$ относительно направления их действия.

В приведенных формулах верхние знаки соответствуют активному, а нижние – пассивному давлению грунта.

Нагрузка $q_{n,c}$ из формулы (1) учитывает вес верхних слоев, поверхностную нагрузку q и сейсмическое воздействие. Вес верхних слоев грунта представляется в виде равномерно распределенной нагрузки при приведении слоев к условно параллельному залеганию с последующей корректировкой, учитывающей действительную ориентацию слоев грунта, и определяется зависимостью

$$\begin{aligned} \sum q_{n-1} = & \gamma_{n-1} h_{n-1} N_{\text{cor}}(Q(n-1)) + \gamma_{n-2} h_{n-2} N_{\text{cor}}(Q(n-2)) + \dots + \\ & + \gamma_{n-k} h_{n-k} N_{\text{cor}}(Q(n-k)) \times \frac{\sin(\beta_3 - \beta_{1,1}) \sin(\beta_{2,n} - \beta_{1,n})}{-\sin \beta_3 \sin(\beta_{2,n} - \beta_{1,1})} \end{aligned} \quad (6)$$

Суммарная равномерно распределенная над n -ым слоем нагрузка от поверхностной q и веса верхних слоев

$$q_n = \sqrt{q^2 + \sum q_{n-1}^2 - 2q \sum q_{n-1} \cos(\beta_{1,1} \mp \rho)}. \quad (7)$$

Сейсмическое воздействие учитывается в рамках статической теории. В соответствии с нормами [6] углы отклонения массовых сил от вертикали в n -ом слое грунтовой засыпки

$$\omega_{\gamma,n} = \arctg \left[\left(\frac{\alpha \gamma_{\text{нас},n} \cos \chi}{\gamma_{\text{взв},n}} \right) / \left(1 - \frac{\gamma_{\text{нас},n}}{\gamma_{\text{взв},n}} \alpha \sin \chi \right) \right], \quad (8)$$

где $\gamma_{\text{нас},n}$, $\gamma_{\text{взв},n}$ – удельный вес грунта n -го слоя соответственно в насыщенном и взвешенном состоянии; 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 [7]; χ – угол наклона сейсмической силы к горизонту.

Заметим, что в рассматриваемых задачах не оговаривается наиболее невыгодное направление сейсмических сил, их ориентация принимается произвольно.

Удельный вес насыщенного водой грунта n -го слоя определяется в соответствии с нормами [6] по формуле

$$\gamma_n = \gamma_{взв,n} \left(1 - \frac{\gamma_{нас,n}}{\gamma_{взв,n}} \alpha \sin \chi \right) / \cos \omega_{\gamma,n}. \quad (9)$$

В случае действия сейсмической силы $S_n = \alpha Q_n$, равной произведению коэффициента сейсмичности α на результирующую поверхностной нагрузки Q_n , необходимо определить результирующую поверхностную нагрузку $Q_{n,c}$ и угол сейсма $\omega_{q,n}$.

На рис. 1 приведены схемы различной ориентации Q_n и $Q_{n,c}$ относительно вертикали, позволяющие определить результирующую поверхностную нагрузку $Q_{n,c}$ с учетом сейсма и углы ее ориентации в случае активного давления грунта. При этом χ – угол наклона сейсмической силы к горизонту положительный.

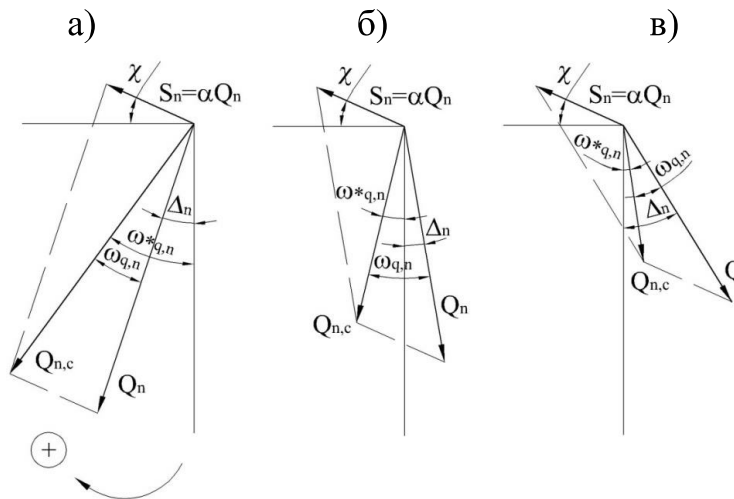


Рис. 1. Схема к определению результирующей поверхностной нагрузки с учетом сейсмического воздействия $Q_{n,c}$ и угла сейсма $\omega_{q,n}$. Активное давление

На рис. 2 приведены схемы для случая действия пассивного отпора.

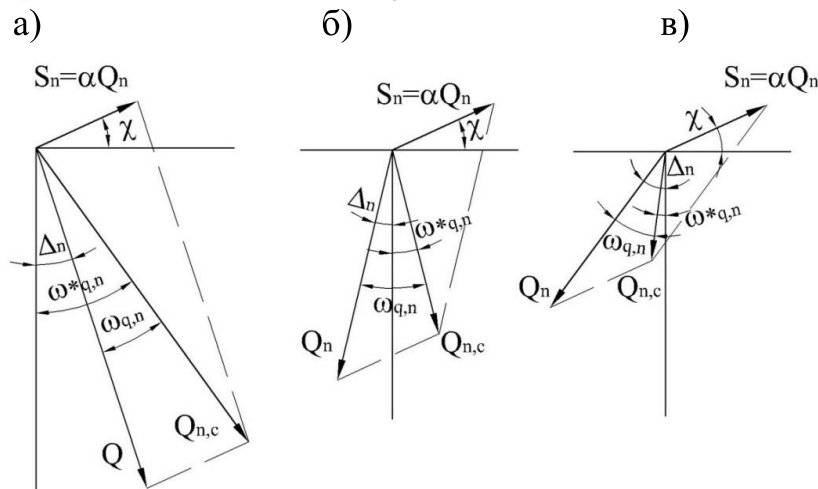


Рис. 2. Схема к определению результирующей поверхностной нагрузки с учетом сейсмического воздействия $Q_{n,c}$ и угла сейсма $\omega_{q,n}$. Пассивное давление

Заметим, что нижеприведенные выводы относятся в равной степени к обоим предельным вариантам давлений.

Для варианта а, принимаемого базовым,

$$\omega_{q,n}^* = \operatorname{arctg} \left[\frac{\sin \Delta_n + \alpha \cos \chi}{\cos \Delta_n - \alpha \sin \chi} \right], \quad (10)$$

где $\omega_{q,n}^*$ – угол отклонения от вертикали поверхностной нагрузки $Q_{n,c}$;

Δ_n – угол отклонения от вертикали поверхностной нагрузки Q_n .

Угол сейсма

$$\omega_{q,n} = \omega_{q,n}^* - \Delta_n. \quad (11)$$

Необходимо отметить, что, учитывая знак угловых параметров для вариантов «б» и «в» получим зависимости, аналогичные формулам (10) и (11).

Для любого варианта действительна зависимость

$$Q_{n,c} = Q_n \frac{(\cos \Delta_n - \alpha \sin \chi)}{\cos \omega_{q,n}^*}. \quad (12)$$

Угол отклонения Q_n от вертикали определяется по формуле

$$\Delta_n = \rho_n \mp \beta_{1,1} \pm \pi. \quad (13)$$

Равномерно распределенная над n -ым слоем нагрузка при сейсмическом воздействии

$$q_{n,c} = q_n \frac{(\cos \Delta_n - \alpha \sin \chi)}{\cos \omega_{q,n}^*}. \quad (14)$$

Выводы. Таким образом, получены идентичные зависимости для определения поверхностной условно равномерно распределенной над произвольным n -ым слоем нагрузки для случаев активного и пассивного давлений грунта, позволяющие учитывать сейсмическое воздействие при проектировании распорных сооружений в сложных инженерно-геологических условиях.

Полученные зависимости могут быть обобщены для любых инженерно-геологических условий, поскольку носят универсальный характер и не зависят от ориентации плоских границ слоев.

Литература

1. *SCDOT Geotechnical design manual (Electronic resource): Chapter 14. / Geotechnical seismic design. - South Carolina Department of Transportation, Columbia. - 2010. - P. 14-1; 14-55. Mode of access: <http://www.scdot.org/scdotwebforms/contact.aspx>.*

2. 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.

3. Войтенко И.В. Учет нагрузки при определении бокового давления неоднородного анизотропного грунта / И.В. Войтенко // Збірник наукових праць.

Полтавський національний технічний університет ім. Ю. Кондратюка. – Вип. №12. – Полтава, 2003. – С. 39 – 46.

4. 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.

5. Войтенко И.В. Влияние прочностной анизотропии на боковое давление грунтовой среды в сложных геотехнических условиях / И.В. Войтенко // Сборник научных трудов ОГАСА. Морские и речные порты. Портовые сооружения. – Выпуск 3. – Одесса, МАГВТ, 2009. – С. 19 – 23.

6. Учет сейсмических воздействий при проектировании гидротехнических сооружений: пособие к разделу 5: Гидротехнические сооружения СНиП II-7-81. – Л : Изв. ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева, 1986. – 310 с.

7. 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.

Надійшла до редакції 20.09.2013

© І.В. Войтенко