

УДК 624.131.53

*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.*

УДК 624.131.53

*І.В. Войтенко, к.т.н., приват-доцент
Одеська Державна академія будівництва і архітектури*

**СЕЙСМІЧНИЙ ЧИННИК В РОЗРАХУНКАХ
БІЧНОГО ТИСКУ НЕОДНОРІДНИХ
АНИЗОТРОПНИХ ГРУНТОВИХ ОСНОВ**

Отримані залежності для визначення поверхневого навантаження з урахуванням сейсмічної дії в контактних завданнях багатослойних анизотропних ґрунтових основ.

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

UDK 624.131.53

*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.*

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.

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.

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

Боковое давление произвольного n -го слоя анизотропного по прочностным показателям грунтового основания определяется зависимостью¹:

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

где γ_n – удельный вес n -го 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 $\beta_{1,n}$;

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

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

$$N_{c,n} = \begin{cases} \frac{\sin(\beta_3 - \beta_{2,n}) \sin(\beta_{1,n} - \beta_{2,n} \pm \varphi_n(\beta_{2,n}))}{\sin(\beta_{2,n} - \beta_{1,n}) \text{tg} \varphi_n(\beta_{1,n})} + \frac{c_n(\beta_3) \sin(\beta_3 \pm \varphi_n(\beta_{2,n}) - \beta_{2,n})}{c_n(\beta_{1,n}) \text{tg} \varphi_n(\beta_3)} + \end{cases}$$

¹ В приведенных формулах верхние знаки соответствуют активному, а нижние – пассивному давлению грунта.

$$+ \frac{\sin(\beta_3 - \beta_{1,1}) \sin(\pm \varphi_n(\beta_{2,n}))}{\sin(\beta_{2,n} - \beta_{1,1})} (1 + N_{\text{cor},n}) \left[\frac{c_n(\beta_{2,n})}{c_n(\beta_{1,n})} \text{ctg} \varphi_n(\beta_{2,n}) - \text{ctg} \varphi_n(\beta_{1,n}) \right] \left. \vphantom{\frac{\sin(\beta_3 - \beta_{1,1}) \sin(\pm \varphi_n(\beta_{2,n}))}{\sin(\beta_{2,n} - \beta_{1,1})}} \right\} \times$$

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

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

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;

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:

$$\sum q_{n-1} = \gamma_{n-1} h_{n-1} N_{\text{cor}}(Q(n-1)) + \gamma_{n-2} h_{n-2} N_{\text{cor}}(Q(n-2)) + \dots +$$

$$+ \gamma_{n-k} h_{n-k} N_{\text{cor}}(Q(n-k)) \times \frac{\sin(\beta_3 - \beta_{1,1}) \sin(\beta_{2,n} - \beta_{1,n})}{-\sin \beta_3 \sin(\beta_{2,n} - \beta_{1,1})} \quad (6)$$

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 [6] углы отклонения массовых сил от вертикали в n-ом слое грунтовой засыпки:

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

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 [6] по формуле:

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

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.

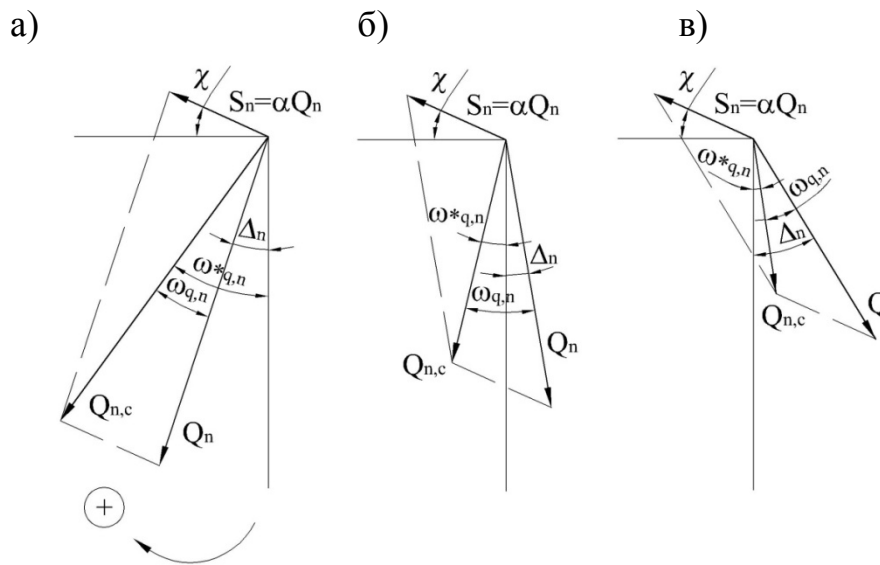


Рис. 1. Схема к определению результирующей поверхностной нагрузки с учетом сейсмического воздействия $Q_{n,c}$ и угла сейсма $\omega_{q,n}$. Активное давление

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

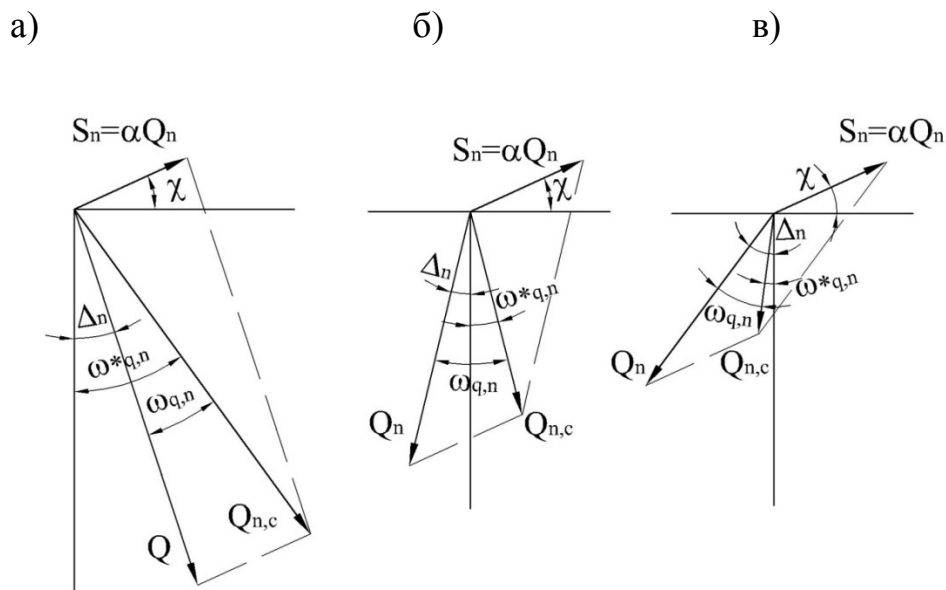


Рис. 2 Схема к определению результирующей поверхностной нагрузки с учетом сейсмического воздействия $Q_{n,c}$ и угла сейсма $\omega_{q,n}$. Пассивное давление

Заметим, что ниже приведенные 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 (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:

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

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. 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.