

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТИРУЮЩЕЙ ПРОИЗВОЛЬНО
ОРИЕНТИРОВАННОЙ ПОВЕРХНОСТНОЙ НАГРУЗКИ В
РАСЧЕТАХ БОКОВОГО ДАВЛЕНИЯ МНОГОСЛОЙНОГО
АНИЗОТРОПНОГО ГРУНТА ПРИ СЕЙСМЕ.***

Войтенко И.В. (Одесская государственная академия строительства и архитектуры, г. Одесса)

В статье получены зависимости, позволяющие вычислять поверхностные нагрузки, действующие по границам слоев, для последующего определения бокового давления от неоднородной, анизотропной по прочностным характеристикам засыпки с учетом сейсмического воздействия.

Особенностью работы гидротехнических сооружений в виде подпорных стен является их взаимодействие с грунтовой средой, характеризующейся, как правило, анизотропией прочностных свойств. Помимо этого, грунтовым основаниям прибрежной зоны присуща слоистость, что обуславливает необходимость разработки методов определения бокового давления от многослойного анизотропного грунтового массива.

В [1, 2] приводятся зависимости, основанные на методике Ш. Кулона, позволяющие определить давление на стенку произвольного n -го слоя грунта:

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

где

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

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

* Работа выполнена под руководством проф. Школа А.В.

$$N_{c,n} = \left\{ \frac{c_n(\beta_{1,n}) \sin(\beta_3 - \beta_{2,n}) \sin(\beta_{1,n} - \beta_{2,n} + \varphi_n(\beta_{2,n}))}{c_n(\beta_{1,1}) \sin(\beta_{2,n} - \beta_{1,n}) \operatorname{tg} \varphi_n(\beta_{1,n})} + \frac{c_n(\beta_3) \sin(\beta_3 + \varphi_n(\beta_{2,n}) - \beta_{2,n})}{c_n(\beta_{1,1}) \operatorname{tg} \varphi_n(\beta_3)} + \frac{\sin(\beta_3 - \beta_{1,1}) \sin \varphi_n(\beta_{2,n})}{\sin(\beta_{2,n} - \beta_{1,1})} (1 + N_{cor,n}) \times \left[\frac{c_n(\beta_{2,n})}{c_n(\beta_{1,1})} \operatorname{ctg} \varphi_n(\beta_{2,n}) - \operatorname{ctg} \varphi_n(\beta_{1,1}) \right] \right\} \frac{1}{\sin \beta_3 \sin(\beta_3 + \varphi_n(\beta_{2,n}) - \beta_{2,n} + \delta_n(\beta_3))} \quad (4)$$

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

γ_n – удельный вес n -го слоя грунта;

h_n – вертикальная проекция высоты стенки в пределах n -го слоя;

$c_n = c_n(\beta_{1,1})$ – базовое сцепление на поверхности n -го слоя при его ориентации $\beta_{1,1}$;

В формулах (2-5) введены следующие обозначения углов при отсчете от горизонтали:

β_3 – угол ориентации стенки;

$\beta_{1,n}$ – угол ориентации поверхности n -го слоя;

$\beta_{1,1}$ – угол ориентации поверхности грунтового основания;

$\beta_{2,n}$ – угол поверхности обрушения.

$\omega_{\gamma,n}, \omega_{q,n}$ – углы сейсма соответственно для объемных сил и нагрузки $q_{n,c}$ относительно направления их действия;

ρ_n – угол ориентации нагрузки q_n относительно нормали к поверхности n -го слоя;

$\delta_n(\beta_3)$ – угол шероховатости (трения грунта о материал стенки).

а) $\beta_{1,1} > \pi$

б) $\beta_{1,1} < \pi$

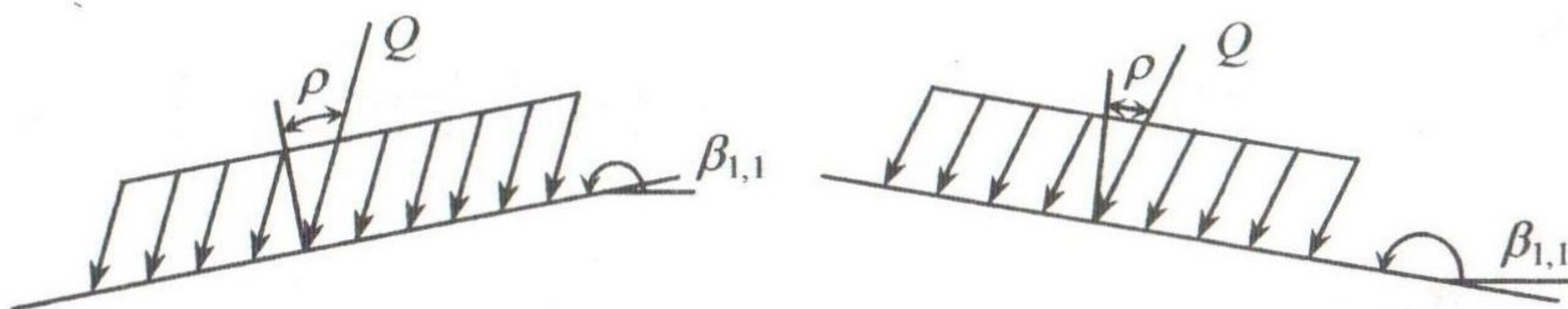


Рис. 1. Варианты ориентации $\beta_{1,1}$.

Равномерно распределенная нагрузка на поверхности n -го слоя $q_{n,c}$ представляет собой суммарную нагрузку от веса верхних слоев, по-

верхностной нагрузки q с учетом сейсмических воздействий.

Определим влияние ориентации поверхностной нагрузки q , поверхности основания $\beta_{1,1}$ на величину искомой $q_{n,c}$.

На рис. 1 показаны варианты ориентации поверхности грунтового основания к горизонту.

ρ – угол ориентации результирующей поверхностной нагрузки Q относительно нормали к поверхности грунтового основания.

На поверхности n -го слоя необходимо учесть вес верхних слоев, представленный на рис. 2 сосредоточенной вертикальной силой ΣQ_{n-1} .

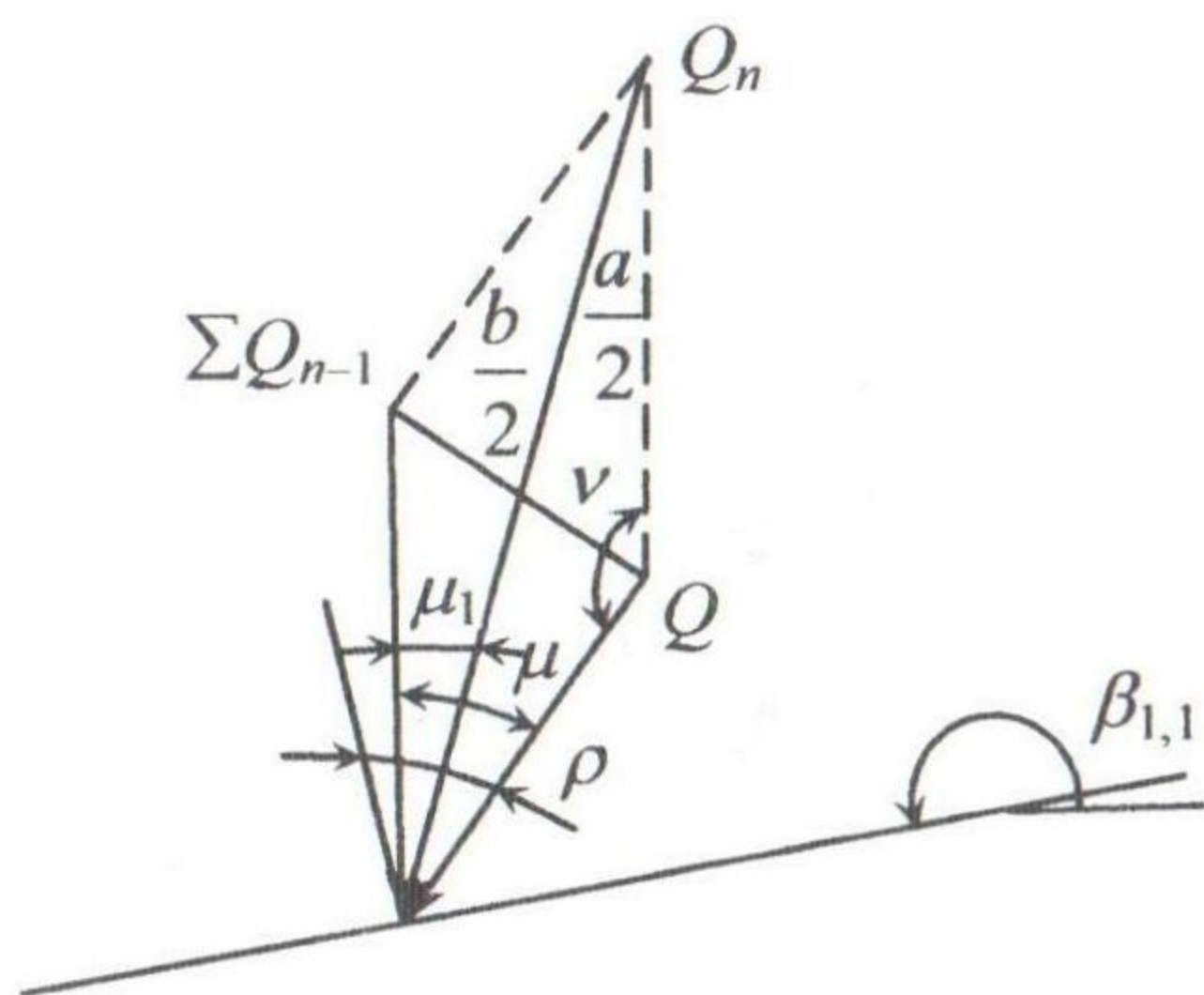


Рис. 2. Схема к определению Q_n ,
 $\rho > (\beta_{1,1} - \pi)$.

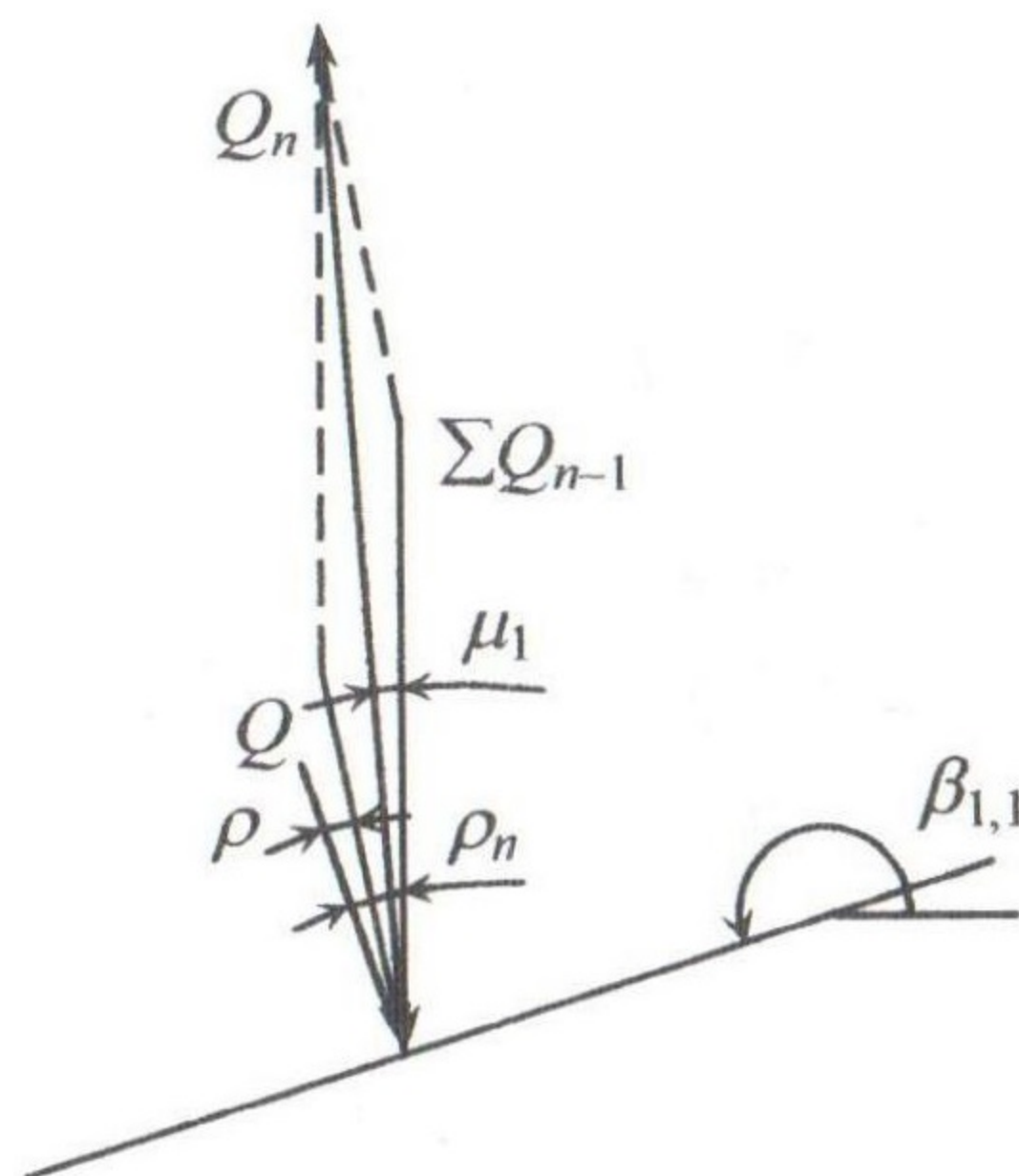


Рис. 3. Схема к определению Q_n , $\rho < (\beta_{1,1} - \pi)$.

Результирующая нагрузка Q_n от поверхностной нагрузки Q и веса верхних слоев ΣQ_{n-1} определена из рис. 2, где a и b – диагонали параллелограмма.

$$\mu = \rho - \beta_{1,1} + \pi, \quad v = \beta_{1,1} - \rho \quad (6)$$

Используя теорему косинусов:

$$b = \sqrt{Q^2 + \Sigma Q_{n-1}^2 + 2Q \Sigma Q_{n-1} \cos(\rho - \beta_{1,1})}, \quad (7)$$

$$Q_n = a = \sqrt{Q^2 + \Sigma Q_{n-1}^2 - 2Q \Sigma Q_{n-1} \cos(\beta_{1,1} - \rho)}, \quad (8)$$

$$\mu_1 = \arccos \left[\frac{\sum Q_{n-1} - Q \cos(\beta_{1,1} - \rho)}{\sqrt{Q^2 + \sum Q_{n-1}^2 - 2Q \sum Q_{n-1} \cos(\beta_{1,1} - \rho)}} \right]. \quad (9)$$

Заметим, что полученные значения Q_n и μ_1 справедливы и для случая, когда $\rho < (\beta_{1,1} - \pi)$.

Поскольку зависимости в [1, 2] базируются на схеме параллельного залегания слоев, ориентация Q_n здесь определяется относительно нормали к условной поверхности распределения нагрузки, параллельной $\beta_{1,1}$.

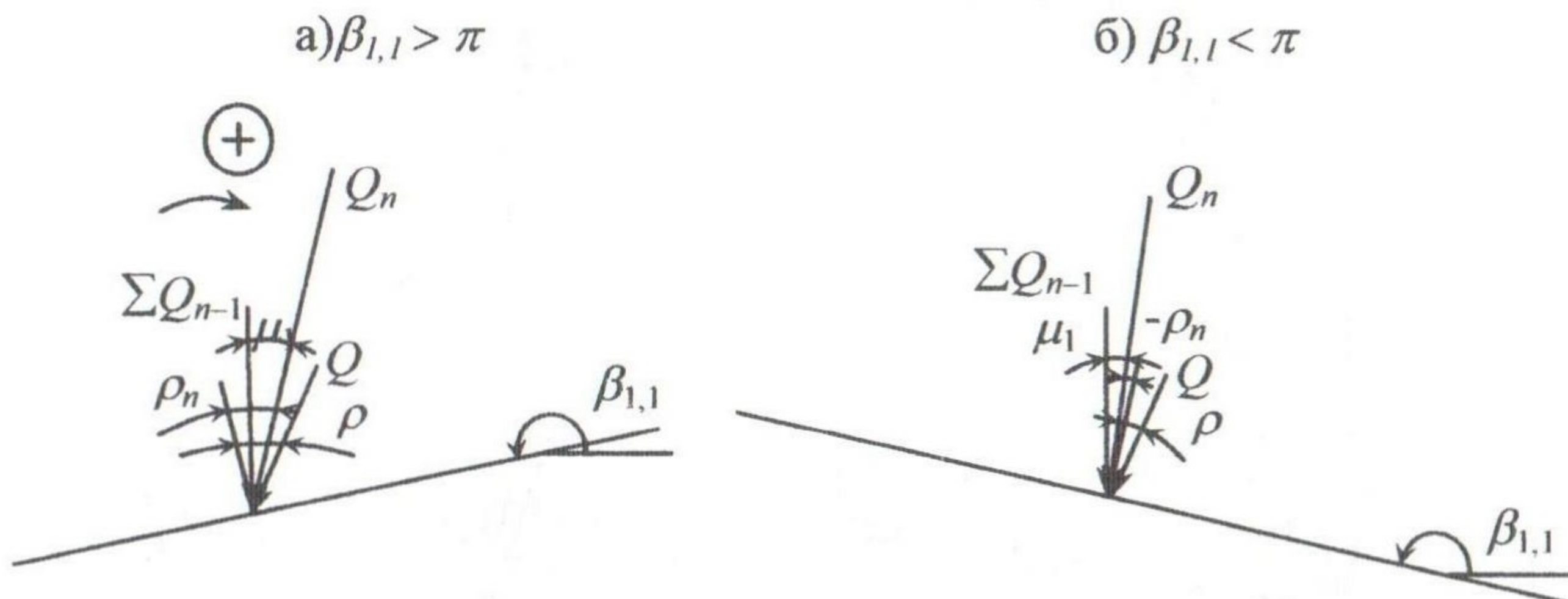


Рис. 4. Схема к определению ρ_n .

Из рис. 4 для случая а): $\rho_n = \beta_{1,1} - \pi + \mu_1$. (10)

В случае а) угол ρ_n - положительный; б) ρ_n - отрицательный (см. рис. 4).

Необходимо отметить, что при подстановке ρ_n с учетом знака в формулу (3) будет выполняться условие равновесия реального силового многоугольника.

Для случая, приведенного на рис. 3: $\rho_n = \beta_{1,1} - \pi - \mu_1$. (11)

В случае действия сейсмической силы $S_n = \alpha Q_n$, где α - коэффициент, учитывающий сейсмичность района строительства и ответственность сооружения, необходимо определить результирующую поверхностную нагрузку $Q_{n,c}$ и угол сейсма $\omega_{q,n}$.

На рис. 5 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.

При этом χ - угол наклона сейсмической силы к горизонту приведен положительным.

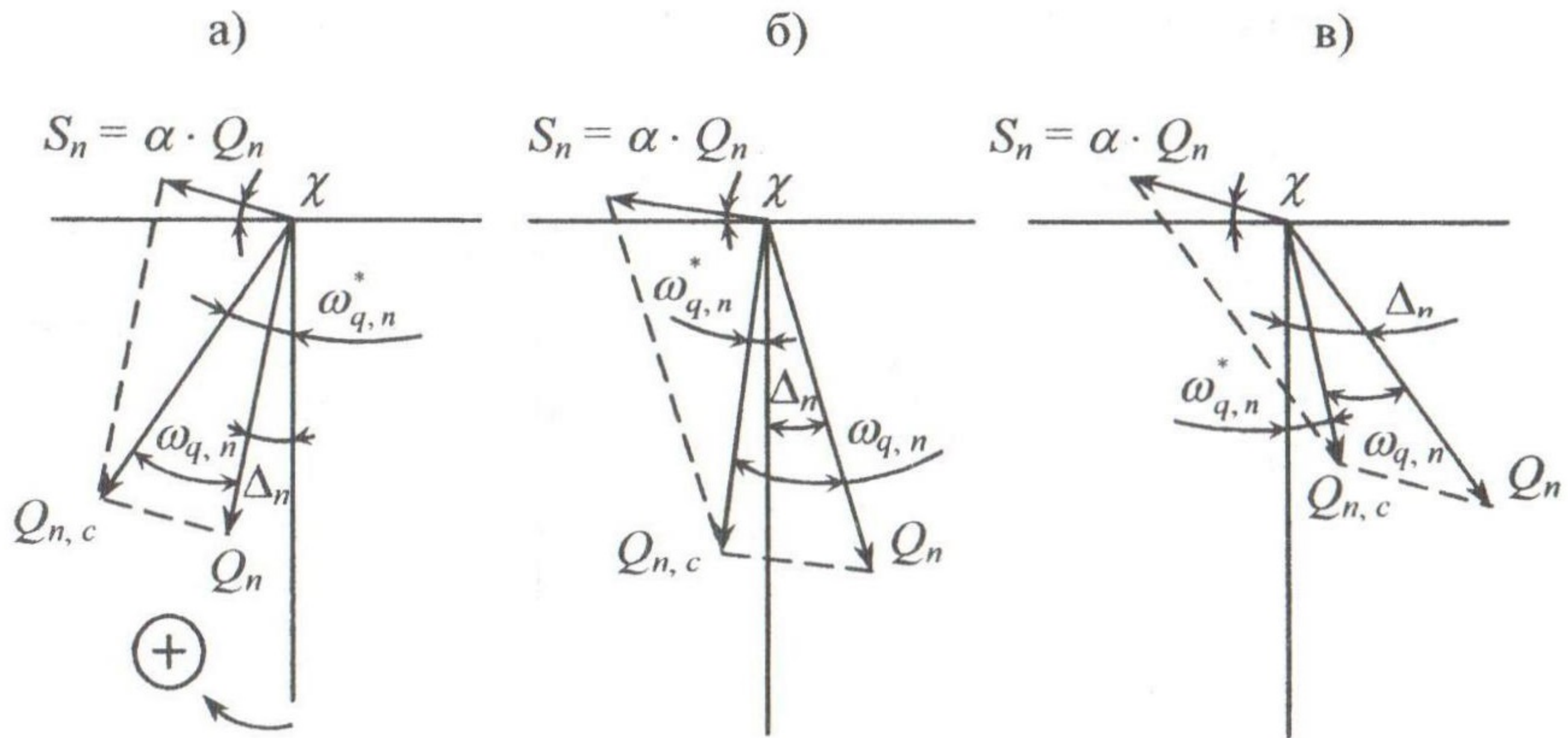


Рис. 5. Схема к определению $Q_{n,c}$ и $\omega_{q,n}$.

Для варианта а), принимаемого базовым:

$$\omega_{q,n}^* = \operatorname{arctg} \left[\frac{\sin \Delta_n + \alpha \cos \chi}{\cos \Delta_n - \alpha \sin \chi} \right], \quad (12)$$

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:
$$\omega_{q,n} = \omega_{q,n}^* - \Delta_n. \quad (13)$$

Для варианта б) Δ_n принимает отрицательное значение (положительный отсчет углов см. рис. 5 а) Для варианта в) отрицательными являются оба угла $\omega_{q,n}^*$ и Δ_n .

Для любого варианта действительна зависимость:

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

Угол отклонения Q_n от вертикали определяется из рис. 6.

Для вариантов а) и в):

$$\Delta_n = \rho_n - \beta_{1,1} + \pi. \quad (15)$$

Для варианта г) угол ρ_n является отрицательным, а для варианта б) Δ_n принимает отрицательное значение (положительное направление углов указано на схеме а)). Из рис. 2 и рис. 6 очевидно, что $|\Delta_n| = \mu$.

Зависимости, полученные в [2], позволяют записать выражение для суммарной нагрузки от веса верхних слоев из (8):

$$\sum q_{n-1} = \sum_{m=1}^k \gamma_{n-m} h_{n-m} N_{cor} (Q(n-m)) \frac{\sin(\beta_3 - \beta_{1,1}) \sin(\beta_{2,n} - \beta_{1,n})}{-\sin \beta_3 \sin(\beta_{2,n} - \beta_{1,1})} \quad (18)$$

Равномерно распределенная нагрузка над n-ым слоем при сейсмическом воздействии, исходя из (14):

$$q_{n,c} = q_n \frac{(\cos \Delta_n - \alpha \sin \chi)}{\cos \omega_{q,n}^*}, \quad (19)$$

Полученные зависимости позволяют определять нагрузку, расположенную над любым n-ым слоем грунтового основания при произвольной характере слоистости и с учетом сейсмического воздействия.

Литература

1. Школа А.В. Войтенко И.В. Определение активного давления двухслойной анизотропной засыпки на подпорные стены. // Труды 3 Украинской конференции по механике грунтов и фундаментостроению. Том 2. – Одесса, 1997. – С. 126-131.
2. Войтенко И.В. Учет нагрузки при определении бокового давления неоднородного анизотропного грунта. // Збірник наукових праць (галузеве машинобудування, будівництво) / Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка. Вип. 12, – Полтава, : ПолтНТУ, 2003. – С. 39-46.