

*В.Г. Шаповал, д.т.н., проф., А.В. Шаповал, к.т.н., А.Ю. Киричек, асп.  
Приднепровская государственная академия  
строительства и архитектуры, г. Днепропетровск*

## **К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАСЧЕТНОГО И НОРМАТИВНОГО СОПРОТИВЛЕНИЙ ГРУНТА МЕТОДАМИ ТЕОРИИ ОПТИМИЗАЦИИ**

*У статті викладена постановка задачі визначення нормативного та розрахункового опору ґрунту в рамках теорії оптимізації. У ході розв'язання конкретних задач показано, що такий підхід дозволяє отримувати результати, які повністю збігаються з результатами, отриманими з використанням загальноприйнятої методики СНиП. Зроблено висновок, що методи теорії оптимізації доречно застосовувати для визначення нормативного та розрахункового опору ґрунту основ із шаруватою текстурою.*

*В статье изложена постановка задачи определения нормативного и расчетного сопротивлений грунта в рамках теории оптимизации. В ходе решения конкретных задач показано, что такой подход позволяет получить результаты, полностью идентичные результатам, полученным с использованием общепринятой методики СНиП. Сделан вывод о том, что методы теории оптимизации целесообразно использовать для определения расчетного и нормативного сопротивлений оснований со слоистой текстурой.*

*The task of determination of standard and design strength of soil within the optimization theory in this article was developed. This approach make it possible to get the results, which identical of the results were got with using accepted methods of SNiP. The methods of optimization theory rationally use for determination of design and standard strength of soil bases with lawyerly texture.*

**Постановка проблеми в общем виде и ее связь с важными практическими задачами.** При определении нормативного  $R^H$  и расчетного  $R$  сопротивлений грунтовых оснований со слоистой текстурой по методике СНиП в настоящее время используется упрощенная расчетная схема системы «основание – фундамент» (т.е. схема однородного, неслоистого основания). В этом случае фактические прочностные характеристики основания заменяются их приведенными значениями. Такой подход не позволяет достоверно определять  $R$  и  $R^H$ .

**Анализ последних исследований и публикаций, в которых положено начало решению данной проблемы.** На наш взгляд, появление методов, позволяющих более точно учитывать при определении  $R^H$  и  $R$  слоистую текстуру грунтовых оснований, сдерживается техническими трудностями, в частности проблемой исследования на экстремум



это обычно делают при решении подобных задач [2, 3]. Далее рассмотрим внутри основания некоторую точку М и определим такое минимальное среднее давление под подошвой фундамента Р, при котором грунт в этой точке будет находиться в предельном состоянии. При этом учтем, что предельному состоянию соответствует значение коэффициента Пуассона  $\nu = 0,5$ .

Согласно схеме на рис. 1, главные напряжения в основании от собственного веса грунта в точке М равны

$$\sigma_1^* = \gamma' \cdot d + \gamma \cdot z \text{ и } \sigma_3^* = \xi \cdot \sigma_1^* = \frac{\nu}{1-\nu} \cdot \sigma_1^* = \frac{0,5}{1-0,5} \cdot \sigma_1^* = \sigma_1^*. \quad (1)$$

Здесь  $\sigma_1$  и  $\sigma_3$  – главные напряжения в точке М (см. рис. 1).

Далее определим главные напряжения в основании от нагрузки, равной  $P - \gamma' \cdot d$  (см. схему на рис.1). Для этой цели следует решить вспомогательную задачу, расчетная схема которой представлена на рисунке 2 (эта задача была впервые сформулирована и решена М. Митчелом [2]). Имеем

$$\sigma_1^{**} = \frac{\alpha + \sin(\alpha)}{\pi} \text{ и } \sigma_3^{**} = \frac{\alpha - \sin(\alpha)}{\pi}. \quad (2)$$

Здесь  $\alpha$  – угол видимости (см. рис. 1 и 2).

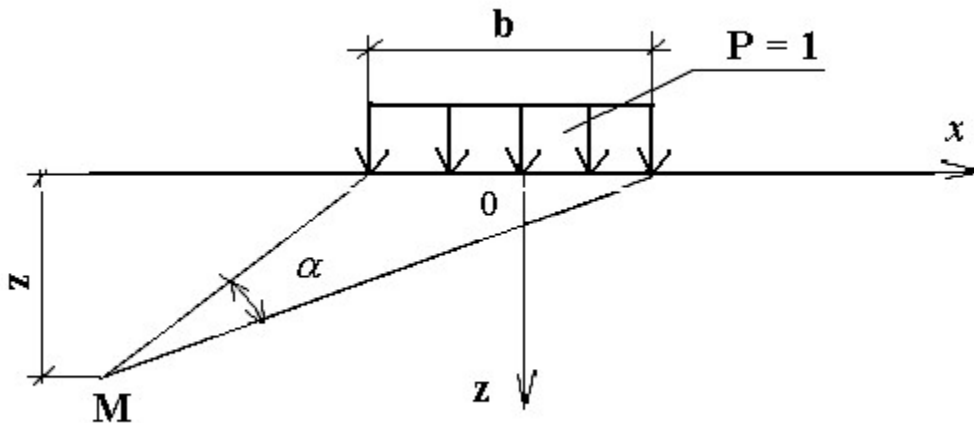


Рисунок 2 – К решению вспомогательной задачи

Далее найдем соответствующие схеме на рис. 1 главные напряжения в точке М. Для этого используем принцип суперпозиции [2]. Имеем

$$\left. \begin{aligned} \sigma_1 &= (P - \gamma' \cdot d) \cdot \sigma_1^{**} + \sigma_1^* ; \\ \sigma_3 &= (P - \gamma' \cdot d) \cdot \sigma_3^{**} + \sigma_3^* , \end{aligned} \right\} \text{откуда}$$

$$\left. \begin{aligned} \sigma_1 &= (P - \gamma' \cdot d) \cdot \left[ \frac{\alpha + \sin(\alpha)}{\pi} \right] + \gamma' \cdot d + z \cdot \gamma; \\ \sigma_3 &= (P - \gamma' \cdot d) \cdot \left[ \frac{\alpha - \sin(\alpha)}{\pi} \right] + \gamma' \cdot d + z \cdot \gamma; \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Далее подставим главные напряжения (3) в условие прочности  $\frac{\sigma_1 - \sigma_3}{\sigma_1 + \sigma_3 + 2 \cdot c \cdot \operatorname{ctg}(\varphi)} = \sin(\varphi)$  и решим полученное таким образом выражение относительно давления под подошвой фундамента  $P$  (см. рис.1). Имеем

$$P = \frac{\gamma_1 \cdot d \cdot [(\pi - \alpha) \cdot \sin(\varphi) + \sin(\alpha)] + \pi \cdot [z \cdot \gamma + c \cdot \cos(\varphi)]}{\sin(\varphi) \cdot \alpha - \sin(\alpha)}. \quad (4)$$

Далее для удобства анализа выполним нормировку, положив в формулу (4)

$$P^* = \frac{P}{\gamma_1 \cdot d}; \quad z^* = \frac{z \cdot \gamma}{\gamma_1 \cdot d} \quad \text{и} \quad c^* = \frac{c}{\gamma_1 \cdot d}.$$

Имеем

$$P^* = \frac{[(\pi - \alpha) \cdot \sin(\varphi) + \sin(\alpha)] + \pi \cdot [z^* + c^* \cdot \cos(\varphi)]}{\sin(\varphi) \cdot \alpha - \sin(\alpha)}. \quad (5)$$

На рисунке 3 для ряда значений  $\varphi$  и  $c^*$  представлены зависимости приведенного давления под подошвой фундамента от координат  $z^*$  и угла видимости  $\alpha$ .

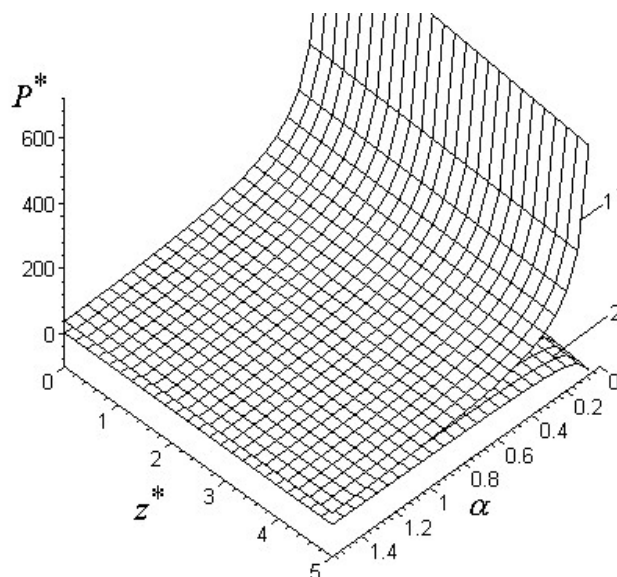


Рисунок 3 – Зависимости приведенного среднего давления под подошвой фундамента от угла видимости  $\alpha$  и приведенной глубины  $z^*$ :  
1 –  $c^*=2,0$  и  $\varphi=18^\circ$ ; 2 –  $c^*=2,0$  и  $\varphi=33^\circ$

Анализ кривых на рисунке 3 позволил нам сделать вывод о том, что при любом значении угла видимости  $\alpha = \alpha_1$  пределы вида  $\lim_{\alpha \rightarrow \alpha_1} (P^*)$  имеют вид линейной функции координаты  $z^*$ , которая параметрически зависит от угла видимости  $\alpha = \alpha_1$ , угла внутреннего трения  $\varphi$  и приведенного удельного сцепления  $c^*$ .

С другой стороны, пределы вида  $\lim_{z^* \rightarrow z_1} (P^*)$  имеют вид нелинейной функции координаты  $\alpha$ , которая параметрически зависит от приведенной глубины  $z^* = z_1$ , угла внутреннего трения  $\varphi$  и приведенного удельного сцепления  $c^*$ .

Далее функция (5) была исследована на экстремум. Ввиду специфики функции  $P^*$  для нахождения локального экстремума был использован метод прямого сканирования [7]. Задача исследований была сформулирована так:

$$P^*(\alpha, z) \rightarrow \max_{\alpha, z^*}; \left. \begin{array}{l} 0 \leq \alpha \leq \frac{\pi}{2}; \\ 0 \leq z^* \leq \frac{b \cdot \gamma}{d \cdot \gamma} \end{array} \right\}, \quad (6)$$

где  $P(\alpha, z^*)$  – целевая функция, а  $b$  – ширина фундамента.

**Таблица 1 – Условия проведения эксперимента**

Наименование характеристики	Единицы измерения	Минимальное значение	Максимальное значение
Глубина заложения подошвы фундамента $d$	метры	1,0	10,0
Глубина, на которой определяется давление $z$	метры	0,0	10,0
Ширина подошвы фундамента $B$	метры	0,0	20,0
Удельный вес грунта выше подошвы фундамента $\gamma'$	$\frac{кН}{м^3}$	11,0	20,0
Удельный вес грунта ниже подошвы фундамента $\gamma'$	$\frac{кН}{м^3}$	11,0	20,0
Удельное сцепление $C$	кПа	0,0	81,0
Угол внутреннего трения $\varphi$	градусы	0,0	44
Приведенное удельное сцепление $c^*$	доли единицы	0,0	7,3
Приведенная глубина $z^*$	доли единицы	0,0	100,0

Примечание. При составлении настоящей таблицы были использованы данные приложения 1 [1, с. 34 – 36].

Результаты расчетов с использованием данных таблицы 1, формул (5) и (6) представлены на рисунке 4. Анализ представленных на нем кривых позволил нам сделать **вывод** о том, что использование методов теории оптимизации позволило очень точно определить приведенное нормативное сопротивление однородного грунтового основания. В этой связи сделан

вывод о том, что изложенный в настоящей работе подход (6) вполне может быть использован для определения расчетного сопротивления слоистых оснований при учете их фактической текстуры. В заключение уместно отметить, что фактическое нормативное и расчетное сопротивления основания по известному значению  $P^*$  следует определять по формулам:

$$R^H = P^* \cdot \gamma \cdot d \text{ и } R = \frac{\gamma_{c1} \cdot \gamma_{c2}}{\kappa} R^H. \quad (7)$$

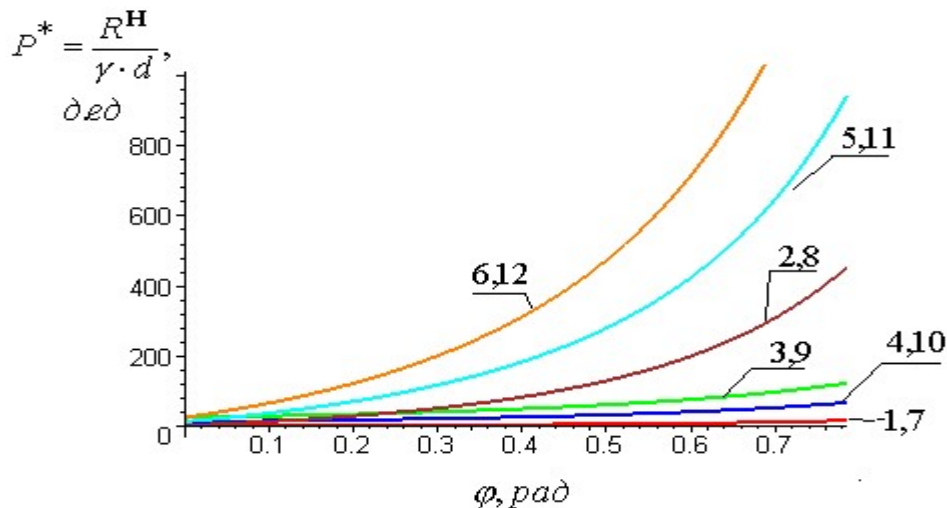


Рисунок 4 – Зависимости приведенного нормативного сопротивления основания от угла внутреннего трения  $\varphi$ :

1,7 –  $c^*=0, z^*=0$ ; 2,8 –  $c^*=3,5, z^*=0$ ; 3,9 –  $c^*=7,3, z^*=0$ ; 5,10 –  $c^*=0, z^*=30$ ;  
 1,7 –  $c^*=3,5, z^*=60$ ; 6,12 –  $c^*=7,3, z^*=100$ . 1,...,6 – расчет по методике СНиП[1],  
 7,...,12 – то же, по формуле (6)

### Литература

1. СНиП 2.02.01 – 83\*. Основания зданий и сооружений. – М., 1995. – 49 с.
2. Механика грунтов, основания и фундаменты / С.Б. Ухов и др. – М.: Изд. АСВ, 1994. – 527 с.
3. Основы механики грунтов / В.А. Флорин. – Л. – М.: Госстройиздат, 1959. – Т.1. – 357 с.
4. Тимошенко С.П. Теория упругости / С.П. Тимошенко, Дж. Гудьир. – М.: Наука, 1975. – 576 с.
5. Зарецкий Ю.К. Лекции по современной механике грунтов / Ю.К. Зарецкий. – Ростов-на-Дону, 1989. – 608 с.
6. Корн Г. Справочник по математике / Г. Корн, Т. Корн. – М.: Наука, 1974. – 840 с.