

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ СИЛ СОПРОТИВЛЕНИЯ ВНЕДРЕНИЮ В ГРУНТ КЛИНЬЕВ
РАЗЛИЧНОЙ КОНФИГУРАЦИИ**

Для определения сопротивления грунта внедрению клина, например, конусного типа предлагается рассмотреть взаимодействие с грунтом симметричного конуса (рис. 1). Грунт принимается как однородная среда, обладающая внутренним трением и сцеплением [1, 8, 11, 12]. В результате вытеснения частиц грунта по сторонам вдоль X-X возникает на боковых поверхностях нормальное напряжение σ_{nx} . Согласно исследованиям [2, 5, 7], можно принять, что касательное напряжение пропорционально $\tau_{nx} = \sigma_{nx}f$. При этом f будем считать $f = Const$ и равным $tg\delta$ (δ – угол внешнего трения). Результирующая напряжений может быть определена выражением $\sqrt{\sigma_{nx}^2 + \tau_{nx}^2}$ и будет отклонена от нормали на угол трения клина о грунт. Исследования к.т.н. Тимошенко В.К. [9] установлено, что результирующая напряжений также может быть разложена на составляющие напряжения: радиальные σ_{ix} (перпендикулярные оси внедрения) и осевые σ_{xx} (параллельные оси внедрения). На основании принятой расчетной схемы установим связь между ними.

$$\sigma_{nx} = \sigma_{ix} \frac{\cos \delta}{\cos\left(\frac{\alpha}{2} + \delta\right)} = \sigma_{xx} \frac{\cos \delta}{\cos\left(\frac{\alpha}{2} + \delta\right)};$$

$$\tau_{nx} = \sigma_{nx} tg\delta = \sigma_{ix} \frac{\sin \rho}{\cos\left(\frac{\alpha}{2} + \delta\right)} = \sigma_{xx} \frac{\sin \rho}{\sin\left(\frac{\alpha}{2} + \delta\right)},$$

где α – угол заострения наконечника, град.

Угол α может изменяться в пределах $25^\circ \leq \alpha \leq 40^\circ$ (из условий обеспечения минимума сопротивлений на наконечнике и необходимой прочности рабочего органа).

Наблюдениями автора и другими исследованиями [3, 4, 5, 6, 9, 10] было установлено, что при внедрении клиньев в грунт совершается работа по раздвиганию частиц в стороны (это обеспечивает скол грунта и движение его в стороны и вверх). При этом осуществляется также трение грунта о боковые поверхности клина. Общее сопротивление P_B грунта внедрению определяется

$$P_B = P_c + P_\tau,$$

где P_c – сопротивление от сдвига грунта в стороны;

P_T – сопротивление сил трения грунта о поверхность клина.

На элемент dS поверхности клина будут действовать силы $\sigma_{nx} dS$, $\tau_{nx} dS$.

Соответственно

$$dP_c = \sigma_{nx} dS \sin \frac{\alpha}{2};$$

$$dP_T = \tau_{nx} dS \cos \frac{\alpha}{2} = \sigma_{nx} \operatorname{tg} \delta dS \cos \frac{\alpha}{2}.$$

Элементарное сопротивление грунта внедрению клина в грунт выразится в виде

$$dP_B = dP_c + dP_T = \sigma_{nx} dS \sin \frac{\alpha}{2} + \sigma_{nx} \operatorname{tg} \delta dS \cos \frac{\alpha}{2}, \quad (1)$$

где $dS = 2\pi \frac{dr}{\sin \frac{\alpha}{2}}$ – площадь элементарной поверхности клина.

Подставив значение dS в формулу (1), получим

$$dP_B = 2\pi \left(\sigma_{nx} \sin \frac{\alpha}{2} + \sigma_{nx} \operatorname{tg} \delta \cos \frac{\alpha}{2} \right) \frac{r dr}{\sin \frac{\alpha}{2}}.$$

Общее сопротивление внедрению клина в грунт выразится интегралом по всей поверхности контакта

$$P_B = 2\pi \left[\int_0^R \sigma_{nx} r dr + \int_0^R \sigma_{nx} \operatorname{tg} \delta \cdot \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2} \cdot r dr \right].$$

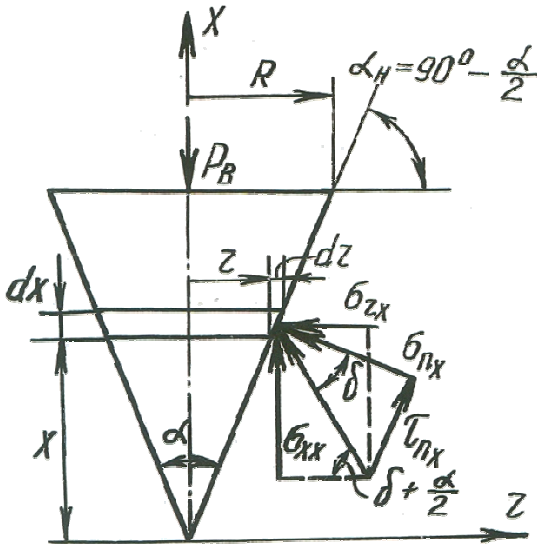


Рис. 1. Расчетная схема к определению сопротивления внедрению клина в грунт.

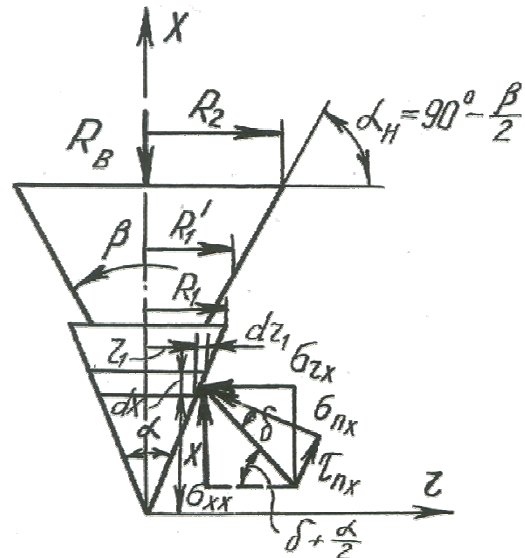


Рис. 2. Расчетная схема к определению сопротивления внедрению клина с боковыми уступами.

Принимая во внимание, что значение σ_n имеет постоянное значение, сопротивление клина вдавливаю в грунт определяется зависимостью

$$P_B = \pi R^2 \sigma_n + \pi R^2 \sigma_n \frac{\operatorname{tg} \delta}{\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}}. \quad (2)$$

Значение σ_n могут быть найдены более строго, исходя из теории предельного равновесия грунтовых масс [1, 8, 11]. Для крутых и промежуточных наклонных стенок значение σ_n определяется по формуле [1, 8]:

$$\sigma_n = A_1 (\gamma + c \cdot \operatorname{ctg} \rho), \quad (3)$$

где A_1 – коэффициент, определяемый аналитически в зависимости от угла наклона плоскости, контактирующей с грунтом к горизонту – α_H .

При

$$\alpha_H \leq \frac{1}{2} \arcsin \frac{\sin \delta_1}{\sin \rho} - \frac{\delta_1}{2};$$

$$A_1 = \frac{1 - \sin \rho \cdot \cos 2\alpha_H}{1 - \sin \rho}.$$

При

$$\alpha_H > \frac{1}{2} \arcsin \frac{\sin \delta_1}{\sin \rho} - \frac{\delta_1}{2};$$

$$A_1 = \frac{\cos \delta_1 (\cos \delta_1 + \sqrt{\sin^2 \rho - \sin^2 \delta_1})}{1 - \sin \rho} e^{\left(2\alpha_H - \pi + \delta_1 + \arcsin \frac{\sin \delta_1}{\sin \rho}\right) \operatorname{tg} \rho}.$$

Подставляя полученные значения σ_n (3) в формулу (2), получим

$$P_B = \pi R^2 A_1 (\gamma + c \cdot \operatorname{ctg} \rho) \left(1 + \frac{\operatorname{tg} \delta}{\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}}\right).$$

Сопротивление грунта внедрению для ступенчатого клина. Составим расчетную схему (рис. 2) по аналогии как и для клина традиционного типа [6, 9]:

$$dP_B = 2\pi \left(\sigma_{nx} \sin \frac{\alpha}{2} + \sigma_{nx} \operatorname{tg} \delta \cos \frac{\alpha}{2} \right) \frac{rdr}{\sin \frac{\alpha}{2}} + 2\pi \left(\sigma_{nx} \sin \frac{\beta}{2} + \sigma_{nx} \operatorname{tg} \delta \cos \frac{\beta}{2} \right) \frac{rdr}{\sin \frac{\beta}{2}};$$

$$P_B = 2\pi \left[\int_0^{R_1} \left(\sigma_{nx} \sin \frac{\alpha}{2} \right) \frac{rdr}{\sin \frac{\alpha}{2}} + \int_0^{R_1} \left(\sigma_{nx} \operatorname{tg} \delta \cos \frac{\alpha}{2} \right) \frac{rdr}{\sin \frac{\alpha}{2}} + \int_{R_1}^{R_2} \left(\sigma_{nx} \sin \frac{\beta}{2} \right) \frac{rdr}{\sin \frac{\beta}{2}} + \int_{R_1}^{R_2} \left(\sigma_{nx} \operatorname{tg} \delta \cos \frac{\beta}{2} \right) \frac{rdr}{\sin \frac{\beta}{2}} \right];$$

$$P_B = \pi \sigma_n \left[R_1^2 \left(1 + \frac{\operatorname{tg} \delta}{\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}} \right) + (R_2^2 - (R_1)^2) \left(1 + \frac{\operatorname{tg} \delta}{\operatorname{tg} \frac{\beta}{2}} \right) \right].$$

Окончательное значение P_B для одноступенчатого клина:

$$P_B = \pi A_1 (\gamma + c \cdot \text{ctg} \rho) \left[R_1^2 \left(1 + \frac{\text{tg} \delta}{\text{tg} \frac{\alpha}{2}} \right) + (R_2^2 - (R_1')^2) \left(1 + \frac{\text{tg} \delta}{\text{tg} \frac{\beta}{2}} \right) \right].$$

Для двухступенчатого клина запишем по аналогии:

$$P_B = \pi A_1 (\gamma + c \cdot \text{ctg} \rho) \left[R_1^2 \left(1 + \frac{\text{tg} \delta}{\text{tg} \frac{\alpha}{2}} \right) + (R_2^2 - (R_1')^2) \left(1 + \frac{\text{tg} \delta}{\text{tg} \frac{\beta}{2}} \right) + (R_3^2 - (R_2')^2) \left(1 + \frac{\text{tg} \rho}{\text{tg} \frac{\beta}{2}} \right) \right].$$

Значение R_1' определяем согласно расчетной схеме следующим образом (рис. 2):

$$R_1' = R_2 - d; d = \frac{h_c - a}{\text{ctg} \frac{\beta}{2}}; a = h_c k_a,$$

где k_a - коэффициент, учитывающий наличие на рабочих поверхностях уступов и зависящий от их количества m и угла наклона β .

Тогда

$$d = \frac{h_c(1 - k_a)}{\text{ctg} \frac{\beta}{2}}; R_1' = R_2 - \frac{h_c(1 - k_a)}{\text{ctg} \frac{\beta}{2}}.$$

При необходимости определения через радиус R_1 формула имеет вид:

$$R_1' = (R_1 - e) + t;$$

При этом

$$e = \frac{h_c}{\text{ctg} \frac{\alpha}{2}}; t = \frac{k_a h_c}{\text{ctg} \frac{\beta}{2}}.$$

Тогда

$$R_1' = R_1 - \frac{h_c}{\text{ctg} \frac{\alpha}{2}} + \frac{k_a h_c}{\text{ctg} \frac{\beta}{2}}.$$

Для клина с двумя ступенями

$$R_2' = R_3 - \frac{h_c(1 - k_a)}{\text{ctg} \frac{\beta}{2}}.$$

Значения коэффициент k_a определены экспериментально при угле наклона рабочих граней клина $\beta=40^\circ$ и приведены в табл. 1.

Экспериментальные значения коэффициента k_a

Количество уступов, m	1	2	3	4
Значение коэффициента k_a	0,2÷0,21	0,22÷0,23	0,19÷0,2	0,17÷0,18

ЛИТЕРАТУРА

1. Баловнев В.И. Новые методы расчета сопротивлений резанию грунтов. М. Росвузиздат, 1963. – 96 с.
2. Ветров Ю.А. Резание грунтов землеройными машинами. М.: Машиностроение, 1971. – 357 с.
3. Дубровский А.А. Вибрационная механика в сельском строительстве. Машиностроение, М., 1968. – 203 с.
4. Зеленин А.Н., Баловнев В.И., Керов И.П. Машины для земляных работ. Машиностроение, М., 1975. – 424с.
5. Зеленин А.Н. Основы разрушения грунтов механическими способами. М., Машиностроение, 1968. – 376 с.
6. Полтавцев И.С., Орлов В.Б. и др. Специальные землеройные машины и механизмы для городского строительства. Киев, Будывельник, 1977. – 137 с.
7. Рахматулин Х.А., Сагомоян А.Я. и др. Вопросы динамики грунтов. Издательство МГУ, 1964. – 239 с.
8. Соколовский В.В. Статика сыпучей среды. М.: Наука, 1976. – 273 с.
9. Тимошенко В.К. Исследование процесса прокола грунтов при закрытой прокладке трубопроводов. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. ДИСИ, Днепропетровск, 1969. – 148 с.
10. Федоров Д. И. Рабочие органы землеройных машин. Машиностроение, М., 1977. – 288 с.
11. Цытович Н.А. Механика грунтов. М., Высшая школа, 1979. – 272 с.
12. Машины для земляних робіт : Навч. посіб. / Л. А. Хмара, С. В. Кравець, В. В. Ничке та ін./ – Під заг. ред. проф. Л. А. Хмари та проф. С. В. Кравця. – Рівне – Дніпропетровськ – Харків. – 2010. – 557 с.