

Список цитированных источников

1. Бетоны напрягающие: СТБ 2101-2010 / Госстандарт РБ. – Мн.: Госстандарт, 2011. – 19 с.
2. Расширяющиеся и напрягающиеся цементы и самонапряжённые конструкции: учебное пособие / В.В. Михайлов, С.П. Литвер. – М.: Стройиздат, 1974. – 389 с.
3. Beton Ekspansywy / M. Król, W. Tur. – Warszawa: Arkady, 1999. – 240 s.

УДК 624.155

Фалько Ю.А., Фундамент С.В.

Научный руководитель: доцент Чернюк В.П.

**РАСЧЁТ ОПТИМАЛЬНОГО УГЛА ЗАОСТРЕНИЯ СВАИ
ИЗ УСЛОВИЯ ТРЕЩИНООБРАЗОВАНИЯ ГРУНТА**

Важное значение в системе капитального строительства придается свайному фундаментостроению. Немаловажную роль в этом направлении играет энергоёмкость погружения свай и несущая способность свайных фундаментов. Одним из многих путей повышения эффективности и снижения энергоёмкости погружения свай являются установление оптимальной формы и рационального угла заострения свай при их забивке в грунт.

Обзор экспериментальных и теоретических исследований зависимости усилия погружения сваи от формы и угла заострения наконечника сваи, профиля или вертикального элемента [1, 2] показывает, что задача сводится в основном к определению угла заострения симметричного клина, конуса, ножа или пирамиды, при котором сопротивление грунта будет минимальным.

Определим оптимальную форму и угол заострения наконечника и режущих профилей из условия (или для) образования опережающих трещин разрыва грунта (трещинообразования) впереди сваи (при условии отсутствия уплотненных ядер грунта).

Анализ большого количества отечественных и зарубежных теоретических и экспериментальных исследований в области свайного фундаментостроения, механики грунтов, землеройно-транспортных машин, машиноведения и др. показывает, что при забивке свай или их моделей в грунт наблюдаются следующие явления: непосредственно под острием сваи в грунте при углах заострения $2\alpha > 50^\circ$ образуется ядро повышенного давления; слишком тупое острие восполняется ядром повышенного давления; вся масса грунта внутри уплотненного ядра имеет максимальную при данном давлении грунта плотность; формы изобар и линии, ограничивающие уплотненное ядро под острием сваи, близки к сфере; в некоторых случаях (при оптимальных углах заострения свай, при определенном виде, влажности, плотности и т.д.) под наконечником сваи наблюдается образование опережающих трещин разрыва грунта, идущих перед острием или лезвием ножа.

Попытаемся определить условия и конкретные углы заострения наконечника 2α , приводящие к образованию трещин в грунте под сваями. С целью упрощения рассуждений ограничимся цилиндрической формой боковой поверхности сваи и конической формой наконечника (рис. 1).

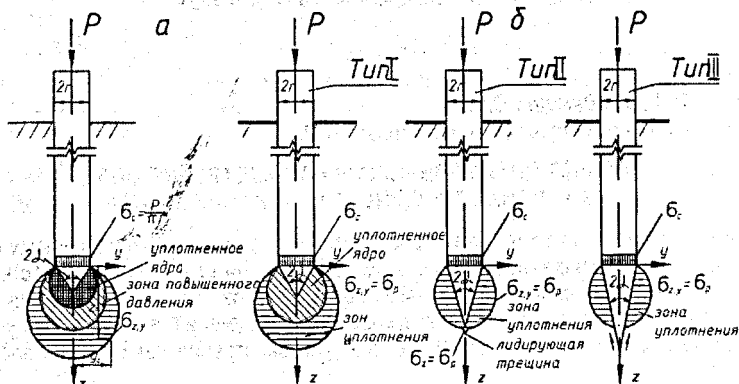
Распределение давлений в грунте при приложении точечной нагрузки (рис. 1а), к которой может быть приравнена забивка свай из-за значительно меньших размеров поперечного сечения по сравнению с длиной, определяется из выражения:

$$\sigma_{z,y} = \frac{3}{2\pi} \frac{P}{z^2} \left[1 + \left(\frac{y}{z} \right)^2 \right]^{-\frac{5}{2}}, \quad (1)$$

где $\sigma_{z,y}$ – давление в грунте на расстоянии y, z от сваи;

y, z – текущие координаты точек изобар в плоскости погружения сваи;

P – величина приложенной нагрузки к наконечнику сваи.



I – при $2\alpha > 2$; II – $2\alpha = 2$; III – $2\alpha < 2$

Рисунок 1 – Распределение напряжений в грунте под сваями (а) и возможные случаи погружения свай при различных углах заострения наконечников (б)

Так как $\sigma_c = P / \pi r^2$, где σ_c – напряжения сжатия (смятия) грунта под торцом сваи при её погружении в грунт, а r – наружный радиус сваи, распределение напряжений в грунте под острием наконечника сваи при $y = 0$ будет определяться из упрощённого выражения:

$$\sigma_z = \frac{3}{2} \sigma_c \frac{r^2}{z^2} \quad (2)$$

или

$$z = r \sqrt{\frac{3\sigma_c}{2\sigma_z}} \quad (3)$$

Выясним, при каких условиях произойдёт образование лидирующей трещины разрыва в напряжённом грунте впереди сваи. Как наиболее благоприятный, будем считать случай при $2\alpha = 2\alpha_{\text{опт}}$. Наиболее вероятно это произойдёт на границе напряжённого состояния грунта с давлением $\sigma_z = \sigma_p$ вдоль продольной оси сваи, где σ_p – предельные напряжения разрыва грунта. В этом случае лезвие или острие наконечника сваи при приложении нагрузки раскроет трещину. При этом в грунте должен возникнуть клиновидный эффект, образующий трещины, который и наблюдали некоторые исследователи, например, А.Н. Зеленин и др. [3,4]. При $2\alpha > 2\alpha_{\text{опт}}$ свая будет продавливаться в грунте без образования трещин, но с возникновением уплотнённых ядер, а при $2\alpha < 2\alpha_{\text{опт}}$ – без образования трещин и уплотнённых ядер, но с наличием больших касательных сил сцепления грунта с гранями наконечника. Поэтому в двух последних случаях энергоёмкость погружения будет выше, чем при $2\alpha = 2\alpha_{\text{опт}}$.

На рис. 1 а, б, в, в представлены три случая погружения свай при различных углах заострения наконечника.

Исходя из этих предпосылок, значение оптимального угла заострения наконечника свай может быть получено из выражения (3)

$$2\alpha_{opt} = 2\arctg \frac{r}{z} = 2\arctg \sqrt{\frac{2\sigma_p}{3\sigma_c}} \quad (4)$$

Учитывая большой разброс предельных значений напряжений сжатия и растяжения грунта σ_c , σ_p для различных грунтов, и даже в пределах одного вида грунта, проведён литературный анализ по различным источникам с целью выявления максимальных и минимальных значений (предельных) соотношения σ_c/σ_p , входящего в формулу (4), как для мёрзлых, так и для немёрзлых грунтов.

Результаты этого анализа и подсчётов по формуле (4) углов заострения наконечников свай приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Значения оптимальных углов заострения наконечников свай $2\alpha_{opt}$ для различных видов грунтов

№ п/п	Грунты	σ_c/σ_p	$2\alpha_{opt}$, град
Мёрзлые			
1	Пески	3...7	50...36
2	Супеси	2,4...4	52...45
3	Суглинки	2,5...5	52...40
4	Глины	3...5,5	50...39
Немёрзлые			
1	Пески	30...40	17...15
2	Супеси	10...30	30...17
3	Суглинки	4...10	45...30
4	Глины	2,5...7	52...36

Как видно из представленных в таблице значений, оптимальными являются углы заострения наконечников свай для мёрзлых и связанных не мёрзлых грунтов $2\alpha_{opt} = 36...52^\circ$, что достаточно точно совпадает с теоретическими исследованиями при минимальном усилии погружения свай [1, 5].

Для сыпучих немёрзлых грунтов (песков и супесей), в особенности рыхлых, обладающих мизерными значениями напряжений разрыва грунта, угол заострения наконечников свай должен уменьшаться до минимальных значений, что подтверждается реальными практическими данными (табл. 1).

Преимуществом данного метода расчёта, наряду с простотой, является то, что оптимальный угол заострения наконечников свай определяется расчётным путём из аналитического выражения в зависимости от предельных величин напряжений сжатия и разрыва, являющихся важными нормативными характеристиками всех видов грунтов.

Список цитированных источников

1. Спиридонов, В.В. Определение оптимальной формы заострения наконечника свай при погружении в грунт / В.В. Спиридонов, В.П. Чернюк, В.Н. Пчелин // Проектирование и строительство трубопроводов и газонефтепромысловых сооружений: научно-технический реферативный сборник. – М.: Информнефтегазострой, 1982. – Вып. 9. – С. 28-32.
2. Тимошенко, В.К. Определение формы заострения вертикального ножа при минимальном усилии резания грунта // Строительные и дорожные машины. – М., 1971. – №1. – С. 16-17.
3. Зеленин, А.Н. Основы разрушения грунтов механическими способами. – М.: Машиностроение, 1968. – 376 с.
4. Зеленин, А.Н. Машины для земляных работ // Основы разруш. грунтов, моделир. процессов, прогнозир. параметров / А.Н. Зеленин, В.Н. Баловнев, И.П. Керов. – М.: Машиностроение, 1975. – 424 с.
5. Чернюк, В.П. Расчёт, проектирование и устройство свайных фундаментов / В.П. Чернюк, П.С. Пойта. – Брест: Облтипография, 1998. – 215 с.