

*В.П. Дыба, д.т.н, профессор
В.Н. Моргунов, к.т.н., доцент, Е.Г. Скибин, аспирант
Южно-Российский государственный политехнический университет им. Платова*

О МЕТОДАХ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ВИСЯЧИХ СВАЙ

Рассмотрена возможность применения модели критического состояния грунта при определении несущей способности свай и фундаментов в вытрамбованных котлованах.

Ключевые слова: «влажный» грунт, параметры модели, состояние пластического течения, критическое состояние.

*В.П. Дыба, д.т.н, професор
В.М. Моргунов, к.т.н., доцент, Є.Г. Скибин, аспірант
Південно-Російський державний політехнічний університет ім. Платова*

ПРО МЕТОДИ ВИЗНАЧЕННЯ НЕСУЧОЇ ЗДАТНОСТІ ВИСЯЧИХ ПАЛЬ

Розглянуто можливість використання моделі критичного стану ґрунту при визначенні несучої здатності паль і фундаментів у витрамбованих котлованах.

Ключові слова: «вологий» ґрунт, параметри моделі, стан пластичної течії, критичний стан.

*V.P. Dyba, Prof., DrSc.
V.N. Morgunov, PhD., associate professor, Y.G. Skibin, post-graduate student
South-Russian State Technical Platov University*

METHODS OF DETERMINING THE CARRYING CAPACITY OF PILES

The authors examine the possibility of using the model of the critical state of the soil to determine the bearing capacity of the bearing capacity of piles and fundamental cent in ramming pits.

Keywords: «damp» soil, model parameters, condition of a plastic current, critical condition.

Введение. В современной практике строительства используется четыре основных метода определения несущей способности свай: статический, динамический (для забивных свай), метод статического зондирования и аналитический. В настоящее время методика определения несущей способности свай первыми 3-мя способами отработана и не вызывает особых проблем, однако эти методы достаточно дорогостоящие и трудоемкие. Существует инженерный метод, который рекомендован современными нормами [2] и которым пользуются проектировщики. Значения расчетных сопротивлений грунта по боковой поверхности и под нижним концом свай, согласно [2], зависят от физических свойств и состава грунта и получены, очевидно, путем статистической обработки данных натурных опытов. Остается открытым вопрос, насколько в данной

методике определения несущей способности свай используются теоретические наработки, методы и законы механики грунтов.

Обзор последних источников исследований и публикаций. В данной статье рассмотрена возможность применения модели критического состояния грунта, разработанной под руководством К. Роско [1] в конце 50-х – начале 60-х годов прошлого столетия, для расчета несущей способности висячих свай, работающих, главным образом, за счет сил трения по боковой поверхности. В этой модели грунт переходит в состояние пластического течения при определенном критическом состоянии, которое не зависит от напряженно-деформированного состояния грунта, а только от его вещественного состава.

Выделение не решенных ранее частей общей проблемы. Расчет несущей способности свай рассматривается для «влажных» грунтов, т.е. для грунтов, переходящих в критическое состояние при уменьшении объема, следовательно, при уменьшении пористости.

Применение модели критического состояния для расчета несущей способности висячих свай обосновано главными достоинствами модели:

- прочностные свойства грунта зависят от его текущей плотности;
- среди параметров модели нет эмпирически определяемых функций;
- нахождение распределения плотности (пористости) в радиальном направлении в зоне уплотнения грунта.

Вышеуказанные достоинства позволяют дать теоретическое решение поставленной **задачи** для свай, изготавливаемых с вытеснением и извлечением грунта, опираясь только на физико-механические свойства грунта, полученные при стандартных лабораторных испытаниях.

Основной материал и результаты. В работах [3, 4] решена одномерная задача о воздействии внутреннего давления на цилиндрическую полость в грунте в рамках модели критического состояния грунта. Получено распределение напряжений и коэффициента пористости в радиальном направлении. Решение данной задачи можно применить к нахождению несущей способности свай.

Несущая способность сваи вычисляется в следующей последовательности:

1. Нахождение напряжений в грунте в радиальном направлении от оси сваи.

Пример. Ниже (рис. 1 – 3) представлены результаты расчета задачи о выдавливании цилиндрической полости со следующими исходными данными: $\phi=24^\circ$, $c=0,032$ МПа, $e=0,652$, давление в полости $P=0,172$ МПа, $d_{св}=44,5$ см (площадь боковой поверхности такой сваи равна площади сваи квадратного сечения с размерами 35x35 см).

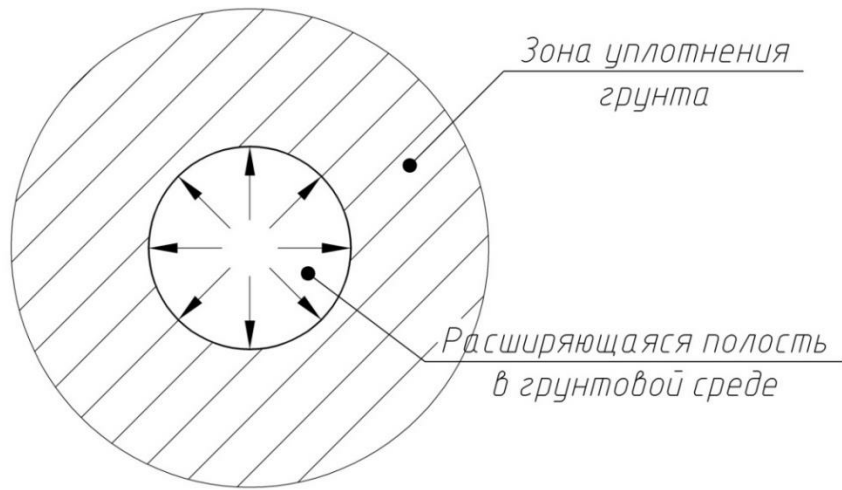


Рис. 1. Уплотненная зона грунта, возникающая при изготовлении сваи с вытеснением грунта

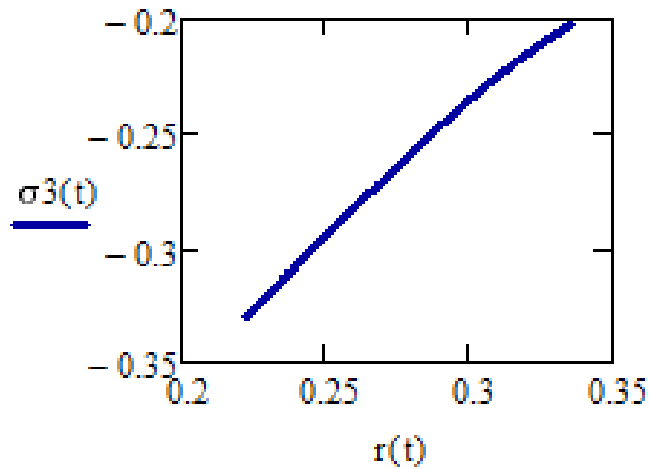


Рис. 2. Зависимость 3-го главного напряжения от радиуса

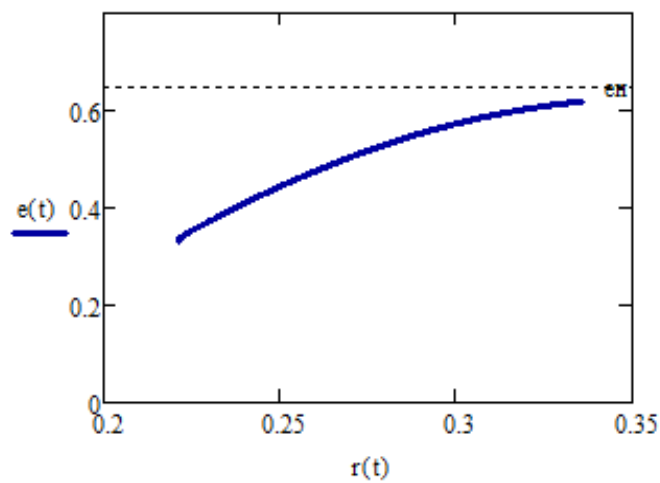


Рис. 3. Распределение коэффициента пористости в зависимости от радиуса

2. Нахождение возникающей силы трения при приложении нагрузки на сваю путем умножения на коэффициент трения давлений, действующих на боковую поверхность сваи.

3. Грунт, в котором находится острие сваи, разбивается на горизонтальные слои (рис. 4). В каждом слое с использованием одномерной задачи вычисляется мощность внутренних сил пластического деформирования. Верхняя оценка силы сопротивления под острием сваи определяется, согласно одной из теорем Гвоздева, из равенства мощности внешней силы сумме мощностей внутренних сил горизонтальных слоев.

Этим же способом можно теоретически находить несущую способность фундамента в вытрамбованном котловане [5] и структуру уплотненной зоны вокруг фундамента.

4. Получающаяся сумма сил трения по боковой поверхности и сил сопротивления под острием сваи будет показывать максимальную нагрузку, которую можно передать на голову сваи, таким образом, мы и получим ее несущую способность.

Для примера, приведенного выше, сила трения по боковой поверхности при уплотнении грунта до критических значений коэффициента пористости для сваи длиной 10 м, принимая коэффициент трения $k = \operatorname{tg} \phi$, равна:

$$F_d = 2052 \text{ кН.}$$

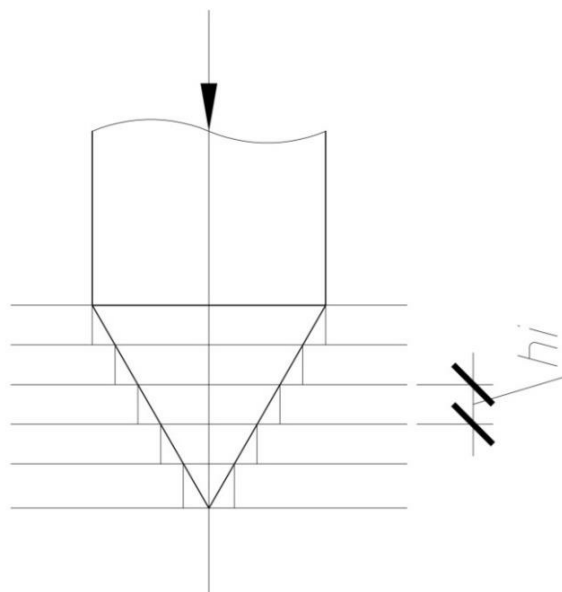


Рис. 4. К расчету несущей способности грунта под острием сваи

Сравнение полученной несущей способности боковой поверхности сваи с нормативным методом [2] проблематичен, т.к. в нормативном документе [2] не используются прочностные характеристики грунта.

Стоит отметить, что свая может потерять несущую способность (по грунту) по следующим поверхностям (см. рис. 5):

- по поверхности соприкосновения грунта и сваи;

- на некотором расстоянии r_x от оси сваи;
- на границе уплотненной зоны с неуплотненным грунтом.

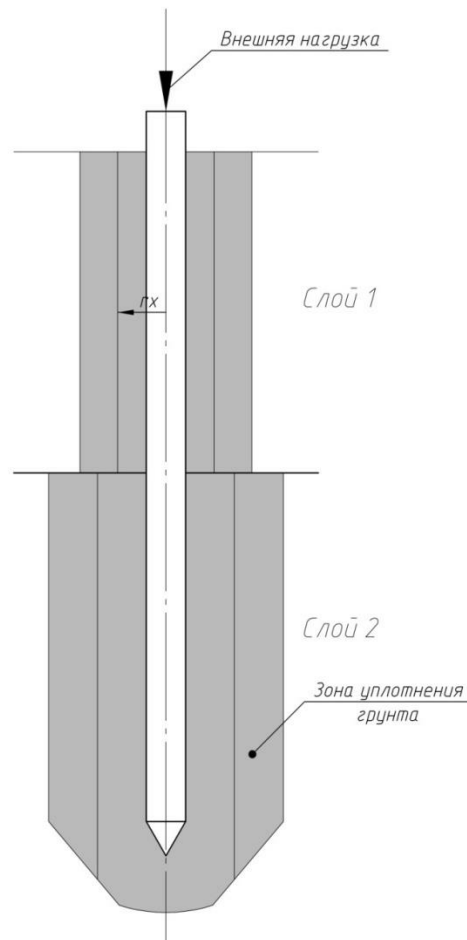


Рис. 5. Разрез по свае

Стоит отметить, что для грунтов с различными физико-механическими характеристиками эти поверхности будут разные.

Модель реализуется следующей системой уравнений в рамках плоской деформации:

- уравнение равновесия в форме Дженне:

$$\begin{cases} \frac{\partial \sigma_1}{\partial u} = (\sigma_3 - \sigma_1) \frac{\partial \theta}{\partial v} \\ \frac{\partial \sigma_3}{\partial u} = (\sigma_3 - \sigma_1) \frac{\partial \theta}{\partial u} \end{cases}, \quad (1)$$

где θ – угол между первым главным напряжением и осью x ; $\frac{\partial \theta}{\partial u}$, $\frac{\partial \theta}{\partial v}$ – производные по первому и второму главным направлениям;

- уравнение поверхности нагружения

$$\sigma_3 = -C + A\sigma_1 + b(e)\sigma_1^2; \quad (2)$$

- функция текучести:

$$f = -\sigma_3 - C + A\sigma_1 + b(e)\sigma_1^2, \quad (3)$$

где A и C – параметры, зависящие от принятого условия прочности; e – коэффициент пористости;

- нормальный закон текучести

$$\dot{\varepsilon}_1 = \lambda \frac{\partial f}{\partial \sigma_1} \quad (4)$$

• для функции текучести (3) нормальный закон текучести запишется в следующем виде:

$$\dot{\varepsilon}_1 = \lambda(A + 2b\sigma_1), \dot{\varepsilon}_2 = 0, \dot{\varepsilon}_3 = -\lambda; \quad (5)$$

• зависимость коэффициента пористости от давлений принята по логарифмическому закону Терцаги

$$e = \Gamma - 1 - \mu \ln \frac{P_k}{P_{k0}} \quad (6)$$

Стоит отметить, что решение данной задачи зависит от принятых параметров модели таких, как уравнения поверхностей нагружения, зависимость коэффициента пористости от давлений (логарифмический закон уплотнения Терцаги). Таким образом, для различных типов грунтов можно применять и различные параметры модели, вплоть до индивидуальных для каждого грунта, которые можно получить при стандартных лабораторных испытаниях, что позволит получить более точные решения.

Вывод. Несущая способность свай, полученная приведенным выше методом, не будет опираться на эмпирические зависимости трудоемких натурных и лотковых испытаний свай, а будет зависеть от прочностных характеристик s и φ , от плотности грунта, т.е. характеристик, полученных при обычных лабораторных испытаниях, а также принятых закономерностей модели и размера свай.

Литература

1. Федоровский, В.Г. *Современные методы описания механических свойств грунтов. Обзор* / В.Г. Федоровский. – М.: ВНИИИС, 1985. – 68 с.
2. СП 22.13330.2011 «*Основания зданий и сооружений*». – М.: Минрегион России, 2010. – 162 с.
3. Дыба, В.П. *Математическое моделирование пластически уплотняемой грунтовой среды* / В.П. Дыба, М.П. Ширяева // *Численно-аналитические методы: Сб. науч. тр.* / Юж. – Рос. гос. техн. ун-т. – Новочеркасск: ЮРГТУ, 2007. – С. 101 – 108.
4. Ширяева, М.П. *Моделирование процессов пластического деформирования грунтов оснований: диссертация Ширяева М.П.*, – Новочеркасск, 2007. – 118 с.
5. Моргунов, В.Н. *Экспериментальные исследования работы фундаментов в вытрамбованных котлованах в натурных условиях* / В.Н. Моргунов // *Механика грунтов в геотехнике и фундаментостроении: м-лы Всерос. научно-технической конф.* – Новочеркасск: ЮРГТУ, 2012. – С. 216–224.

Надійшла до редакції 23.09.2013
© В.П. Дыба, В.М. Моргунов, Є.Г. Скибин