

А. И. Сапожников, Э. Р. Кужахметова

**СПОСОБЫ ПОГРУЖЕНИЯ,
ПРОЧНОСТНЫЕ И
ДЕФОРМАЦИОННЫЕ РАСЧЁТЫ
СВАЙ**

Астрахань

2015

А. И. Сапожников, Э. Р. Кужахметова

**СПОСОБЫ ПОГРУЖЕНИЯ, ПРОЧНОСТНЫЕ И
ДЕФОРМАЦИОННЫЕ РАСЧЁТЫ СВАЙ**

Астрахань
2015

С. 19 ББК 38.5-0.28.8
УДК 69.01
УДК 624.154.044
УДК 624.072.2.154
УДК 624.131.5:614.15.04
УДК 691.31:624.01
УДК 624.154.042
УДК 624.04:512.83

С.19. Способы погружения, прочностные и деформационные расчёты свай, в том числе монолитных свай - оболочек большого диаметра, различной длины /А. И. Сапожников, Э. Р. Кужахметова – Астрахань, 2015. – 70 с.: 31илл.

В книге приводятся прочностные, деформационные расчеты забивных свай и монолитных свай – оболочек больших диаметров, а также описаны способы глубокого погружения монолитных свай – оболочек.

© А. И. Сапожников, Э. Р. Кужахметова, 2015

Содержание

Введение	5
1. Методика конструирования и расчета свай. Для изучения и применения	6
Библиографический список.....	17
2. Способы погружения. Деформационный расчет монолитной сваи – оболочки большого диаметра на горизонтальную нагрузку	19
Библиографический список.....	21
3. Деформационный расчет свай и свайных фундаментов на действие вертикальных нагрузок	22
Библиографический список.....	31
4. Упругопластический расчет сваи на продольно – поперечный изгиб современными методами строительной механики.....	33
Библиографический список.....	40
5. Расчет остаточных деформаций свай при продольно – поперечном нагружении.....	41
Библиографический список.....	46
6. Устойчивость свай как систем с изменяемой по длине продольной силой	47
Библиографический список.....	53
7. Расчет рам свайной конструкции с учетом податливости грунта основания	54
Библиографический список.....	62
8. Методика формирования расчетных схем свайных эстакад, загруженных вертикальными и горизонтальными нагрузками	63
Библиографический список.....	70

Введение

Книга содержит основные сведения по расчетам свай, а также свай – оболочек большого диаметра.

Подробно описаны практические методы расчета забивных свай, а также приведен сравнительный анализ длинных и коротких забивных свай разного сечения. Для расчетов использованы методы строительной механики.

В книге представлены способы глубокого погружения свай – оболочек больших диаметров.

Книга предназначена для инженерно - технических работников проектных и строительно - монтажных организаций, аспирантов, студентов строительных специальностей.

1. Методика конструирования и расчета свай. Для изучения и применения

В расчете стержней (балок и свай) на упругом основании, как в полупространстве, можно отказаться от смешанного метода Б. Н. Жемочкина [1], используя метод перемещений, как более наглядный и простой. При этом определение матрицы жесткости (МЖ) грунта, как наиболее сложной части задачи, можно получить, используя МКЭ, или, в развитие метода Б.Н. Жемочкина, обратив используемую им матрицу податливости (МП) грунта [2].

Обычно обращение МП для получения МЖ ухудшает результат из-за плохой ее обусловленности. О существовании и природе этой проблемы легко убедиться на примере консольного стержня, у которого смещение недиагональных членов МП, кроме случая, когда единичная сила приложена на его конце, превышают по величине диагональные, что отражается на точности МЖ, полученной путем обращения МП.

Использование для расчета балок на упругом основании задачи Ж. В. Буссинеска [1], как и в решении Б. Н. Жемочкина, свободно от описанного недостатка, поскольку, в применении к полупространству, недиагональные члены МП всегда меньше диагональных. Это же положение относится и к использованию МКЭ.

МКЭ может использоваться двояко, по упрощенной схеме Б. Н. Жемочкина, когда определяются вначале смещения штампов, или сразу определяется МЖ, когда единичное смещение получают «диагональные блоки», а остальные удерживаются связями метода перемещений. При этом, при расчете балок оба подхода эквивалентны. Однако, при расчете свай - второй подход предпочтительнее, особенно в расчетных точках около поверхности грунта, поскольку в этом случае, как в примере с консольным стержнем, недиагональные элементы МП превышают по величине диагональные.

Все эти методы в дискретной постановке сводятся к введению упругих опор, расположенных вдоль балки, связанных между собой, образуя матрицу жесткости грунта [2], при применении метода Винклера имеющую диагональную структуру.

Рассмотрим поведение двух свай в упругой стадии работы грунта: короткой и длинной, воспользовавшись методиками расчета [2, 3], позволяющими определить изогнутую ось сваи, эпюру моментов и перерезывающих сил с внесением модификаций с учетом недавно полученных результатов.

Методика, описанная в [2], явилась прорывом в теории расчета свай на горизонтальные нагрузки, поскольку позволила учесть особенности деформационного и прочностного расчетов свай, все факторы их поведения, известные к тому времени, и уйти от их упрощенного расчета, как консоли, защемленной в основании на определенной глубине. Показательно, что обсуждаемая разработка попала в журнал [2] после двух попыток опубликования, которые натыкались на мнения рецензентов, совершенно противоречащие пониманию процесса. Признание скачка очевидно из самого номера журнала, опубликовавшего статью, в котором, параллельно с работой [2], была опубликована разработка с уже опровергнутым в этой работе вариантом сваи, как защемленной консоли.

Для исследования примем железобетонную сваю квадратного поперечного сечения, с размерами $b \times h = 30 \times 30$ см и длиной $L = 2 - 10$ м. Материал - тяжелый бетон класса В15, с модулем упругости $E_b = 24 \cdot 10^3$ МПа¹. Значение модуля сдвига бетона принято равным $G_b = 0,4E_b = 0,4 \cdot 24 \cdot 10^3 = 9,6 \cdot 10^3$ МПа². Грунт основания - песок мелкий пылеватый. Внешняя горизонтальная нагрузка на все сваи $P = 100$ кН.

Грунт, в соответствии с данными работы [2], будем характеризовать упругими опорами, дискретно расположенными по длине сваи. Для

¹ СП 63.13330.2012. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. – М.: ФАУ «ФЦС», 2012.- С.25.

² Там же. С. 24.

упрощения расчета реальную зависимость жесткости грунта от глубины примем прямолинейной, проходящей через точки на поверхности грунта и на глубине $H = 3$ м. Дальнейшее увеличение жесткости грунта, начиная с глубины 10 м, практически прекращается и график переходит в вертикальную прямую (рис. 1).

Приведенная на рис. 1 схема изменения параметров жесткости грунта с глубиной (предложена в работе [2] и использована в нормативных документах [4, 5]) является нормативным описанием реального поведения грунта.

Формирование упрощенного графика осуществляется по трем его характерным точкам: началом отсчета, расположенного на поверхности грунта, точкой на глубине 3 м, которая характеризует глубину, где

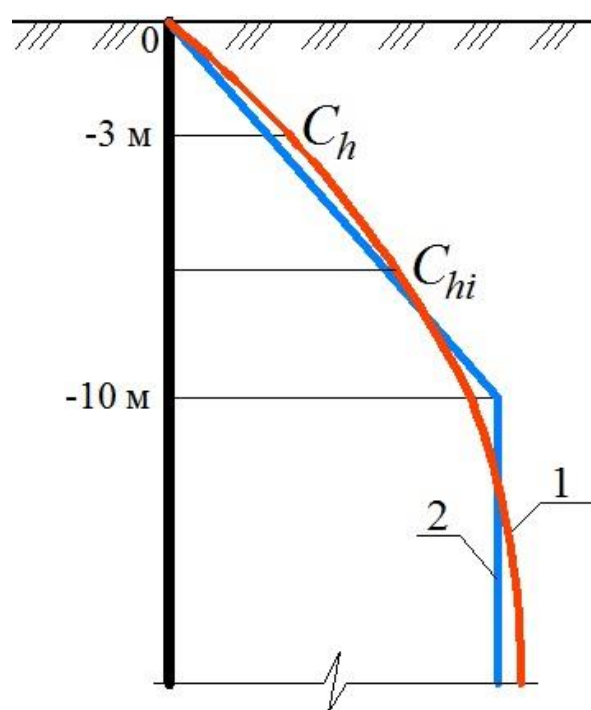


Рисунок 1 – График изменения жесткости грунта по глубине

1 – реальное изменение;
2 – расчетное изменение

сложился грунт как однородная структура, в которой проводится экспериментальное измерение коэффициента жесткости грунта C_h (кН/м³), и, наконец, точка на глубине 10 м, начиная с которой жесткость грунта лишь незначительно возрастает. Такой подход к построению графика позволяет ограничиться одним измерением жесткости грунта C_h .

Принята дискретная расчетная схема свай с упругими опорами, которые характеризуют

жесткость грунта (рис. 2 а).

Коэффициенты жесткости грунта у i - й упругой опоры C_{hi} определяются по графику (см. рис. 1). Основой для его построения служит коэффициент жесткости грунта C_h , представляющий собой силу,

способную кубик в 1см^3 на глубине 3 м вдавливать в грунт на 1 см (рис. 2 б). По длине сваи от поверхности до глубины 10 м C_{hi} определяется из подобия треугольников (см. рис. 1), далее величина C_{hi} стабилизируется.

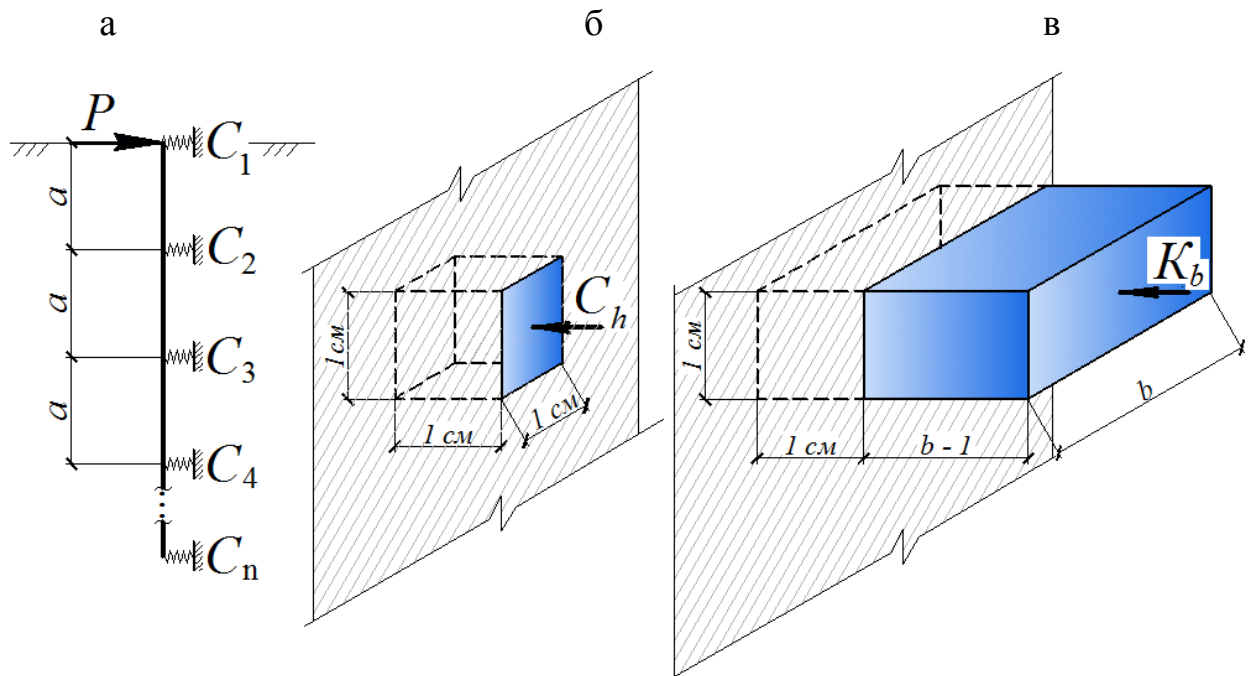


Рисунок 2 – Расчетная схема и определение характеристик отпорности

а – расчетная схема сваи на упругих опорах;
 б – коэффициента жесткости грунта;
 в – балочного коэффициента постели;

Если C_{hi} ($\text{кН}/\text{см}^3$) умножить на ширину сваи b (см), то получим балочный коэффициент постели $K_{bi} = C_{hi} \cdot b$ ($\text{кН}/\text{см}^2$), т.е. силу, которая вдавливают на 1 см в грунт пластину размерами $b \times 1(\text{см}^2)$ (рис. 2 в).

Балочный коэффициент постели является континуальной характеристикой горизонтального отпора грунта по отношению к свае. Если грунт заменить упругими опорами, дискретно расположенными по длине сваи с шагом a (см), то коэффициент жесткости упругой опоры будет равен величине:

$$C_i = C_{hi} ab, \quad (1)$$

где C_i – коэффициент жесткости i -й упругой опоры сваи, ($\text{кН}/\text{м}$);

C_{hi} – коэффициент жесткости грунта в уровне i -й упругой опоры, определяемый по графику (см. рис.1), ($\text{кН}/\text{м}^3$);

a – расстояние между упругими опорами, (м);

b – ширина сваи, (м).

Таким образом, коэффициент жесткости упругой опоры – это коэффициент жесткости грунта в уровне расположения опоры, умноженный на площадь, к ней относящуюся.

Вначале рассмотрим расчет сваи по методике [2], учитывающей, помимо ее горизонтального смещения и поворота в вертикальной плоскости, еще и поперечную упругую деформацию. Для наглядности методики и получения необходимых формул расчета с учетом изгиба и сдвига поперечных сечений³ сваи примем ее модель длиной $L=2$ м.

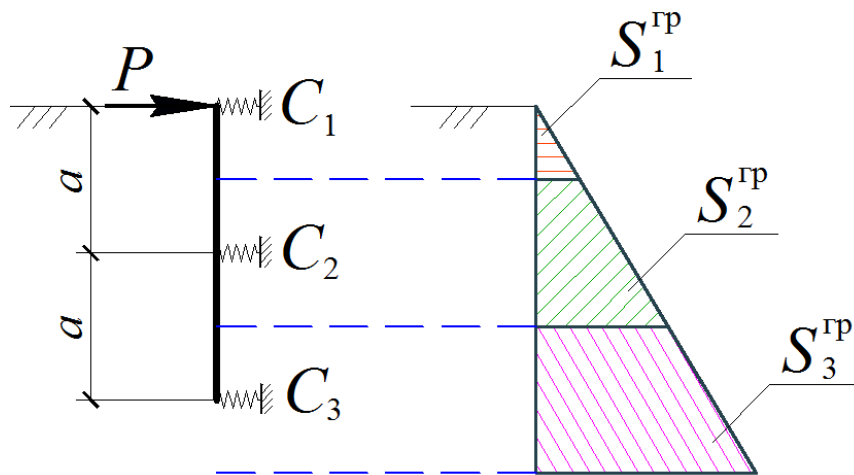


Рисунок 3 - Схема определения упругих опор для сваи $L=2$ м

P – горизонтальная сила;
 C_1, C_2, C_3 – коэффициенты жесткости упругих опор;
 $S_i^{гр}$ – грузовые площади, относящиеся к определению коэффициентов жесткости упругих опор;
 a – шаг упругих опор

Работу грунта учтем с помощью гипотезы Винклера. Приняв для двухметровой сваи три расчетные точки – по краям и в ее центре, получим:

- на глубине $h_{гр} = 0$ м коэффициент жесткости грунта принимается в точке 1 на расстоянии $1/2$ от нуля по высоте верхнего треугольника (рис. 3) и составляет $C_{h1} = 13,335 \cdot 10^3$ (кН/м³);

- на глубине $h_{гр} = 1$ м коэффициент жесткости грунта принимается в точке 2 и составляет $C_{h2} = 26,67 \cdot 10^3$ (кН/м³);

³ Следует указать на необходимость учета деформаций сдвига поперечных сечений, впервые отмеченную в работе [6].