

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 1-10

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СРЕДНЕЙ СИЛЫ СОПРОТИВЛЕНИЯ ГРУНТА ЗАБИВКЕ СВАИ

Приборы и принадлежности: модель копра, штанген-циркуль, линейка.

Цель работы: определение средней силы сопротивления грунта забивке свай, оценка потери механической энергии при забивке свай.

ВВЕДЕНИЕ

Используемая для этой цели модель копра состоит из груза, помещенного на некоторой высоте H , и свай. Свая удерживается в определенном положении с помощью механического устройства, играющего роль грунта.

КРАТКАЯ ТЕОРИЯ

Процесс забивки свай в грунт с помощью копра происходит следующим образом. При падении груза его потенциальная энергия, обусловленная взаимодействием с Землей, переходит в кинетическую энергию движения груза (приращением кинетической энергии Земли при этом можно пренебречь). Обозначив через v_1 скорость груза непосредственно перед соударением со свайей, через m_1 – массу груза и через H – первоначальную высоту груза над свайей, получим уравнения:

$$m_1 g H = \frac{m_1 v_1^2}{2}; \quad (1)$$

$$v = \sqrt{2 g H}. \quad (2)$$

При дальнейшем движении груза происходит его неупругое соударение со свайей. Физические явления во время столкновения довольно сложны. Сталкивающиеся тела деформируются, возникают упругие силы и силы трения, в телах возбуждаются колебания и волны и т.д. Однако если удар неупругий, в конечном итоге, все эти процессы прекращаются и в дальнейшем груз и свая, соединившись вместе, движутся как единое целое с массой $(m_1 + m_2)$ с некоторой общей скоростью v , сохраняя возникшую при ударе взаимную деформацию. Общую скорость груза и свай сразу после удара можно найти, применяя закон сохранения импульса к системе «груз–свая». Эту систему на рассматриваемом этапе взаимодействия считаем замкнутой, так как внешние силы – силы тяжести груза и свай, сила сопротивления грунта малы по сравнению с внутренними силами, развивающимися при соударении между грузом и свайей. До удара груз двигался со скоростью v_1 , приобретенной в результате падения с высоты H , свая же была неподвижна. После удара груз и свая движутся с общей скоростью v . Согласно закону сохранения импульса, считая удар груза и свай абсолютно неупругим, запишем:

$$m_1 v_1 = (m_1 + m_2) v.$$

Подставляя сюда (2), имеем

$$v = \frac{m_1}{m_1 + m_2} \sqrt{2gH}, \quad (3)$$

В дальнейшем система «груз–свая», перемещаясь внутри грунта с начальной скоростью v , испытывает действие силы сопротивления со стороны грунта. Грунт может иметь различную плотность на различных глубинах, поэтому и сила сопротивления будет разной. Поэтому в дальнейшем будем говорить о **средней силе сопротивления** грунта забивке сваи (F_{cp}).

По окончании удара груз и свая движутся вместе замедленно до полной остановки. При этом сила сопротивления грунта совершает работу, равную

$$A = \mathbf{F}_{\text{cp}} \cdot \mathbf{S} = F_{\text{cp}} \cdot S \cdot \cos \alpha, \quad (4)$$

где \mathbf{S} – смещение сваи с грузом в грунте.

Так как сила сопротивления грунта F_{cp} и смещение направлены по одной прямой, но в противоположные стороны, то $\cos \alpha = -1$.

Тогда

$$A = -F_{\text{cp}} \cdot S. \quad (5)$$

Эта работа равна изменению энергии системы «груз–свая–Земля», т.е.

$$-F_{\text{cp}} \cdot S = W_2 - W_1 \quad \text{или} \quad F_{\text{cp}} \cdot S = W_1 - W_2, \quad (6)$$

где W_1 и W_2 – механическая энергия системы в начале движения и в момент остановки, соответственно.

Обозначим высоту забиваемой сваи относительно заранее выбранного начального уровня перед началом забивки сваи h_1 и после окончания забивки h_2 (см. рис. 2). Тогда

$$W_1 = \frac{m_1 + m_2}{2} v^2 + m_1 g h_1 + m_2 g h_1; \quad (7)$$

$$W_2 = m_1 g h_2 + m_2 g h_2, \quad (8)$$

а разность

$$W_1 - W_2 = \frac{m_1 + m_2}{2} \cdot v + (m_1 + m_2) g (h_1 - h_2). \quad (9)$$

Обозначим

$$h_1 - h_2 = S. \quad (10)$$

Подставив в (6) ($W_1 - W_2$) из (9), v из (3), S из (10), имеем

$$F_{\text{cp}} = \left[\left(\frac{m_1^2}{m_1 + m_2} \right) \frac{H}{S} + (m_1 + m_2) \right] g. \quad (11)$$

Примечание: при неупругом ударе происходят различного рода процессы в соударяющихся телах (их пластические деформации, трение и др.). В результате происходит частичное преобразование механической энергии во внутреннюю энергию соударяющихся тел.

Проведем оценку потери кинетической энергии системы «груз–свая» в результате неупругого удара. Кинетическая энергия системы до удара

$$W_0 = \frac{m_1 v_1^2}{2}. \text{ Кинетическая энергия системы после удара } W = \frac{(m_1 - m_2) v^2}{2}.$$

Потери кинетической энергии во время удара

$$\Delta W = W_0 - W = \frac{m_1 v_1^2}{2} \cdot \frac{m_2}{m_1 + m_2}.$$

Относительное уменьшение кинетической энергии системы

$$\delta = \frac{\Delta W}{W_0} = \frac{m_2}{m_1 + m_2} \quad (12)$$

ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

В работе используется модель копра для забивки сваи в землю (рис. 1). Роль грунта в модели выполняет разрезанная пополам текстолитовая втулка 4, находящаяся внутри метал-лической обоймы 5. Во внутрь этой втулки помещается свая 3, которую необходимо забивать в грунт. Сила трения между сваей и разрезной втулкой создается за счет силы нормального давления на одну половину втулки со стороны малого плеча рычага 6. Силу нормального давления, а следовательно, и силу трения, можно изменять. Для этого на большое плечо рычага 6 надевают гирию 7. Свая забивается в грунт при помощи груза 1, который может перемещаться по вертикальным направляющим 2. Для удержания груза на некоторой высоте над сваей до удара служит электромагнит 8, работающий от источника постоянного тока на 12 В.

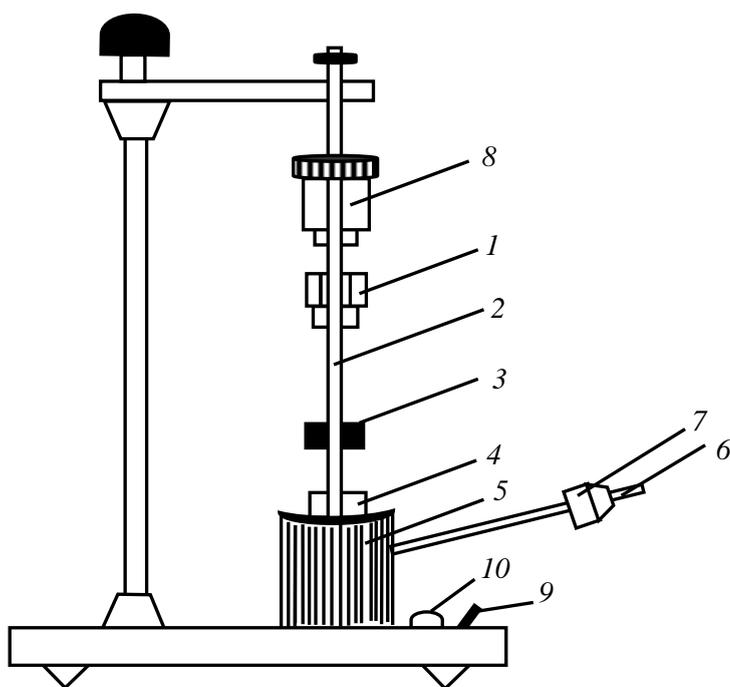


Рис. 1

Электромагнит приводится в действие включением тумблера 9. При этом загорается лампочка 10, находящаяся вблизи тумблера. Электромагнит можно передвигать совместно с грузом по направляющим 2 и закреплять в нужном положении. Высота положения груза отсчитывается от верхней поверхности обоймы 5, берут за начальный уровень отсчета. Расстояние верхнего конца сваи от начального уровня отсчета измеряется с помощью штангенциркуля-глубиномера.

ЗАДАНИЕ НА ПРОВЕДЕНИЕ ИЗМЕРЕНИЙ

В работе необходимо определить среднюю силу сопротивления «грунта» и исследовать ее зависимость от плотности грунта, т.е. расстояния L , и зависимость величины S от высоты падения груза H .

РЕКОМЕНДАЦИИ СТУДЕНТАМ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ РАБОТЫ

- Рекомендуем для однозначного определения величин H , h_1 , h_2 выбрать в качестве начального уровня верхний торец металлической обоймы 5 (рис. 2).

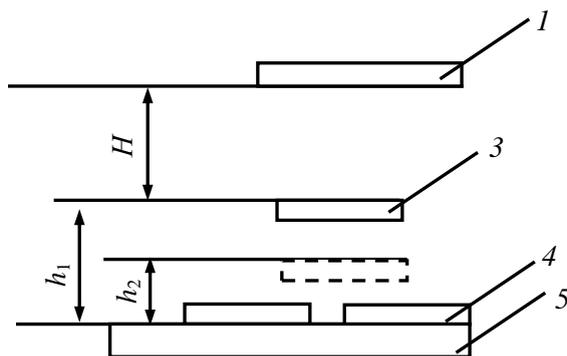


Рис. 2

- Для перемещения сваи 3 внутри разрезной втулки 4 необходимо приподнять рычаг б.

Под максимально возможной высотой H поднятия груза 1 понимается такая высота, при падении с которой груз при $L = 200$ мм забивает сваю 3 вовнутрь разрезной втулки 4 немного не до конца. Для определения такой высоты необходимо выдвинуть сваю 3 из разрезной втулки 4 на максимально возможную высоту, приподняв рычаг б. Свая при этом должна оставаться внутри втулки не менее чем на 5 см. (В этом случае разрезная втулка будет более равномерно сжимать сваю со всех сторон). Тумблером 9 включить электромагнит 8, привести в соприкосновение с ним груз 1 и, передвигая электромагнит с «прилипшим» к нему грузом, подобрать такую высоту поднятия груза, при которой, падая, груз забьет сваю в разрезную втулку немного не до конца.

Все результаты измерений необходимо записывать в заранее заготовленные таблицы.

1. Проведите исследования зависимости смещения сваи с грузом S в грунте от высоты подъема груза H . Для этого:

- установите гирю 7 на расстояние $L = 200$ мм от центра сваи 3;
- подберите максимально возможную высоту подъема груза 1 и запишите в табл. 1 значения H , h_1 , L ;
- проведите не менее 5 раз забивку сваи 3 грузом 1, измеряя каждый раз величину h_2 . Результаты измерений запишите в табл. 1;
- проведите аналогичные измерения, уменьшая дискретно через 50 мм высоту H . Результаты измерений запишите в табл. 1;

- проведите расчет величины относительного уменьшения кинетической энергии системы «груз – свая».

Таблица 1

$h_1, \text{ м}$	$L, \text{ м}$	$H, \text{ м}$	$h_2, \text{ м}$	$h_{\text{ср}}, \text{ м}$	S
		$H_1 =$	1 _____ 2 _____ 3 _____ 4 _____ 5 _____		
		$H_2 =$	1 _____ 2 _____ 3 _____ 4 _____ 5 _____		
		$H_3 =$	1 _____ 2 _____ 3 _____ 4 _____ 5 _____		
		$H_4 =$	1 _____ 2 _____ 3 _____ 4 _____ 5 _____		
		$H_5 =$	1 _____ 2 _____ 3 _____ 4 _____ 5 _____		

2. Проведите исследование средней силы сопротивления грунта забивке свай от «плотности грунта», т.е. расстояния L . Для этого:

- установите максимально возможную высоту подъема груза H ;
- установите гирю 7 на расстоянии 225 мм от центра сваи 3 (для $L = 200$ мм измерения проведены в предыдущем разделе);
- проведите не менее 5 раз забивку сваи 3 грузом 1, измеряя каждый раз величину h_2 . Результаты измерений запишите в табл. 2;

Таблица 2

$h_1, \text{ м}$	$H, \text{ м}$	$L, \text{ м}$	$h_2, \text{ м}$	$h_{\text{ср}}, \text{ м}$	S
		$L_1 =$	1 _____ 2 _____ 3 _____ 4 _____ 5 _____		
		$L_2 =$	1 _____ 2 _____ 3 _____ 4 _____ 5 _____		

		$L_3 =$	1 _____		
			2 _____		
			3 _____		
			4 _____		
			5 _____		
		$L_4 =$	1 _____		
			2 _____		
			3 _____		
			4 _____		
			5 _____		
		L_5	1 _____		
			2 _____		
			3 _____		
			4 _____		
			5 _____		

- проведите аналогичные измерения, меняя дискретно через 25 мм расстояние L гири 7 от центра сваи 3. Результаты измерений запишите в табл. 2.
- рассчитайте среднеарифметические значения h_{2cp} и запишите их в табл. 2;
- вычислите для каждого значения L величины S и запишите их значения в табл. 2;
- вычислите для каждого значения L среднюю силу сопротивления грунта забивке сваи и запишите ее значения в табл. 2.

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

- вычислите погрешность в определении F_{cp} по методике расчета погрешности косвенных измерений;
- постройте график зависимости $S = h_1 - h_2$ от высоты подъема груза H с учетом погрешности в определении этой силы;
- постройте график зависимости средней силы сопротивления грунта в зависимости от L с учетом погрешности в определении S и H ;
- проведите на основании этого графика анализ зависимости средней силы сопротивления грунта от L , S от H и объясните полученную зависимость;
- проведите расчет величины относительного измерения кинетической энергии систем «груз–свая».

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ И ИНДИВИДУАЛЬНОЙ РАБОТЫ

1. Систему «груз–свая» в данной работе считают замкнутой. Насколько это справедливо? Каким образом количественно оценить является ли данная система замкнутой?
2. При выводе расчетных формул пренебрегают приращением кинетической энергии Земли. Насколько справедливо это утверждение и как оценить кинетическую энергию Земли? Сравните эту величину со средней кинетической энергией молекулы воздуха в лаборатории.

3. Как оценить внутренние силы, развивающиеся при соударении между грузом и сваей? Предложите методику их определения.
4. Какова должна быть конструкция установки, чтобы потери на деформацию были минимальны?
5. Как измерить энергию звуковых волн, образующихся при ударе груза о сваю?
6. Как измерить общую скорость, с которой движутся грузы? Предложите методику ее измерения.
7. Почему в модели копра используют понятие средней силы сопротивления?
8. Каким образом можно увеличить точность измерения величин h_1 и h_2 ? Ответ обосновать.
9. Груз, до удара о сваю, скользит по направляющим. Как оценить и измерить работу сил трения? Как величина этой работы «изменяет» силу сопротивления грунта?
10. Каким образом можно вычислить энергию деформации сваи и груза?
11. Каким образом можно измерить энергию деформации груза и сваи?
12. От чего зависит коэффициент полезного действия копра? Как сделать его максимальным?
13. Зависит ли сила сопротивления $F_{\text{ср}}$ от высоты подъема груза H ?
14. Проведите расчет потенциальной и кинетической энергии груза, работу силы сопротивления и сравните эти величины.
15. Какое количество тепла выделяется при ударе груза о сваю?
16. Приведите (назовите) методы, с помощью которых можно измерить количество тепла, выделяющегося при ударе груза о сваю?
17. Для проведения расчетов используют значения масс груза и сваи, которые заданы на приборе. Оцените погрешности, с которыми даны эти значения.
18. Какие из погрешностей в данной работе являются максимальными и почему?
19. Предложите простой и наглядный способ уменьшения относительных потерь энергии на деформацию.
20. При работе сил сопротивления грунта один вид энергии переходит в другой. Дайте ответ, используя понятия всех видов энергии, фигурирующих в данной работе.
21. Как сила сопротивления грунта зависит от длины сваи?
22. Проанализируйте расчетную формулу для $F_{\text{ср}}$ и дайте ответ, почему сила зависит от H ?
23. Как измерить изменение импульса Земли в данной работе, чему он равен? Сравните его величину с импульсом молекул воздуха лаборатории.
24. Как оценить энергию частиц сваи и груза при их нагревании, происходящем при ударе?
25. С какой точностью можно измерять величины h_1 и h_2 ? Предложите простые, современные и удобные способы их определения.