

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение

Высшего профессионального образования

**НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**

Институт - Неразрушающего контроля

Направление - Электроника и наноэлектроника; Биотехнические системы и технологии

Кафедра - Промышленной и медицинской электроники

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ СРЕДНЕЙ СИЛЫ СОПРОТИВЛЕНИЯ
ГРУНТА ЗАБИВКЕ СВАИ**

Отчёт по лабораторной работе № 1-10

По курсу «Физика 1.3»

Выполнил студент гр.ЭТО133 _____ Е.И.Зубова

_____ А.С.Молдабеков

Проверил ассистент каф. ОФ _____ Л.А.Святкин

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СРЕДНЕЙ СИЛЫ СОПРОТИВЛЕНИЯ

ГРУНТА ЗАБИВКЕ СВАИ

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

Приборы и принадлежности: модель копра, штангенциркуль, линейка.

ТЕОРИТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Процесс забивки сваи 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 сваей, через m_1 – массу груза и через H – первоначальную высоту груза над сваей, получим уравнения:

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

$$v = \sqrt{2gH}$$

(2)

При дальнейшем движении груза происходит его неупругое соударение со сваей. 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 сваи 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 сваи, сила сопротивления грунта малы по сравнению с внутренними силами, развивающимися при соударении между грузом и сваей. До удара груз двигался со скоростью v_1 , приобретенной в результате падения с высоты H , свая же была неподвижна. После удара груз и

свая движется с общей скоростью v . Согласно закону сохранения импульса, считая удар груза и сваи 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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$W_0 = \frac{m_1 v_1^2}{2}.$$

$$W = \frac{(m_1 - m_2) v^2}{2}.$$

Кинетическая энергия системы после удара

Потери кинетической энергии во время удара

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

Относительное уменьшение кинетической энергии системы

$$\delta = \frac{\Delta W}{W_0} = \frac{m_2}{m_1 + m_2}$$

Практическая часть

Таблица №1 Зависимость смещения сваи от высоты падения груза

$h_1, м$	$L, м$	$H, м$	$h_2, м$	$h_{cp}, м$	$S, м$	F_{cp}, H
0.06	0.2	0.31	<u>0.052</u>	0.052	0.008	114
			<u>0.053</u>			
			<u>0.051</u>			
			<u>0.050</u>			
			<u>0.052</u>			
		0.28	<u>0.053</u>	0.053	0.007	117,8
			<u>0.054</u>			
			<u>0.053</u>			
			<u>0.052</u>			
			<u>0.055</u>			
		0.25	<u>0.053</u>	0.054	0.006	122,2
			<u>0.054</u>			
			<u>0.054</u>			
			<u>0.055</u>			
			<u>0.056</u>			
		0.22	<u>0.054</u>	0.055	0.005	128,9
<u>0.055</u>						
<u>0.054</u>						
<u>0.054</u>						
<u>0.057</u>						

			<u>0.056</u>			
		0.19	<u>0.055</u>	0.056	0.004	135,2
			<u>0.054</u>			
			<u>0.056</u>			
			<u>0.058</u>			
			<u>0.057</u>			

$$m_1=330\text{гр}=0.33\text{кг}; \quad m_2=45\text{гр}=0.045\text{кг}$$

$$1) \quad h_{cp1} = \frac{\sum h}{5} = 0.052\text{M} \quad h_{cp4} = \frac{\sum h}{5} = 0.055\text{M}$$

$$h_{cp2} = \frac{\sum h}{5} = 0.053\text{M} \quad h_{cp5} = \frac{\sum h}{5} = 0.056\text{M}$$

$$h_{cp3} = \frac{\sum h}{5} = 0.054\text{M}$$

$$2) \quad S_1 = h_1 - h_{cp1} = 0.008\text{M} \quad S_4 = h_4 - h_{cp4} = 0.005\text{M}$$

$$S_2 = h_2 - h_{cp2} = 0.007\text{M} \quad S_5 = h_5 - h_{cp5} = 0.004\text{M}$$

$$S_3 = h_3 - h_{cp3} = 0.006\text{M}$$

$$3) \quad F_{cp1} = \left[\left(\frac{m_1^2}{m_1 + m_2} \right) \frac{H}{S} + (m_1 + m_2) \right] g \approx 114\text{H}$$

$$F_{cp2} = \left[\left(\frac{m_1^2}{m_1 + m_2} \right) \frac{H}{S} + (m_1 + m_2) \right] g \approx 117,8\text{H}$$

$$F_{cp3} = \left[\left(\frac{m_1^2}{m_1 + m_2} \right) \frac{H}{S} + (m_1 + m_2) \right] g \approx 122,2\text{H}$$

$$F_{cp4} = \left[\left(\frac{m_1^2}{m_1 + m_2} \right) \frac{H}{S} + (m_1 + m_2) \right] g \approx 128,9H$$

$$F_{cp5} = \left[\left(\frac{m_1^2}{m_1 + m_2} \right) \frac{H}{S} + (m_1 + m_2) \right] g \approx 135,2H$$

Таблица №2 Зависимость силы от удаленности гири на рычаге

$h_1, м$	$H, м$	$L, м$	$h_2, м$	$h_{cp}, м$	$S, м$	$F_{cp}, Н$
0.06	0.31	0.1	<u>0.051</u>	0.05	0.01	91,9
			<u>0.050</u>			
			<u>0.052</u>			
			<u>0.049</u>			
			<u>0.050</u>			
		0.13	<u>0.052</u>	0.051	0.009	101,7
			<u>0.051</u>			
			<u>0.053</u>			
			<u>0.050</u>			
			<u>0.054</u>			
		0.16	<u>0.054</u>	0.053	0.007	129,7
			<u>0.053</u>			
			<u>0.053</u>			
			<u>0.052</u>			
			<u>0.055</u>			
		0.19	<u>0.054</u>	0.054	0.006	150,7
			<u>0.053</u>			
			<u>0.056</u>			
			<u>0.053</u>			
			<u>0.054</u>			
0.22	<u>0.056</u>	0.055	0.005	180,1		
	<u>0.057</u>					
	<u>0.053</u>					
	<u>0.054</u>					
	<u>0.055</u>					

$m_1=330гp=0.33кг;$ $m_2=45гp=0.045кг$

$$1) h_{cp1} = \frac{\sum h}{5} = 0.05 \text{ м}$$

$$h_{cp2} = \frac{\sum h}{5} = 0.051 \text{ м}$$

$$h_{cp3} = \frac{\sum h}{5} = 0.053 \text{ м}$$

$$2) S_1 = h_1 - h_{cp1} = 0.01 \text{ м}$$

$$S_2 = h_2 - h_{cp2} = 0.009 \text{ м}$$

$$S_3 = h_3 - h_{cp3} = 0.007 \text{ м}$$

$$h_{cp4} = \frac{\sum h}{5} = 0.054 \text{ м}$$

$$h_{cp5} = \frac{\sum h}{5} = 0.055 \text{ м}$$

$$S_4 = h_4 - h_{cp4} = 0.006 \text{ м}$$

$$S_5 = h_5 - h_{cp5} = 0.005 \text{ м}$$

$$3) F_{cp1} = \left[\left(\frac{m_1^2}{m_1 + m_2} \right) \frac{H}{S} + (m_1 + m_2) \right] g \approx 91,9 \text{ Н}$$

$$F_{cp2} = \left[\left(\frac{m_1^2}{m_1 + m_2} \right) \frac{H}{S} + (m_1 + m_2) \right] g \approx 101,7 \text{ Н}$$

$$F_{cp3} = \left[\left(\frac{m_1^2}{m_1 + m_2} \right) \frac{H}{S} + (m_1 + m_2) \right] g \approx 129,7 \text{ Н}$$

$$F_{cp4} = \left[\left(\frac{m_1^2}{m_1 + m_2} \right) \frac{H}{S} + (m_1 + m_2) \right] g \approx 150,7 \text{ Н}$$

$$F_{cp5} = \left[\left(\frac{m_1^2}{m_1 + m_2} \right) \frac{H}{S} + (m_1 + m_2) \right] g \approx 180,1 \text{ Н}$$

Вычислим абсолютную погрешность измерений ΔH и ΔF_{cp} для последнего измерения:

$$\Delta H = \Delta H_{ои} = \alpha \cdot 0.5 \cdot l_{\min} = 0.000475 \text{ м}$$

$$\Delta S = \Delta a = \sqrt{\Delta a_{с.и}^2 + \Delta a_{о.и}^2} = 0.0005 \text{ м}$$

$$\Delta F_{\text{ср}} = \left(\frac{m^2}{m_1 + m_2} \right) \frac{gH}{S} \sqrt{\left(\frac{\Delta H}{H} \right)^2 + \left(\frac{\Delta S}{S} \right)^2} = 7,72 \text{ Н}$$

$\sigma_F = (\Delta F_{\text{ср}} / F_{\text{ср}}) \cdot 100\% = 6,5\%$ (для второго измерения)

График 1. Зависимость смещения от начальной высоты груза

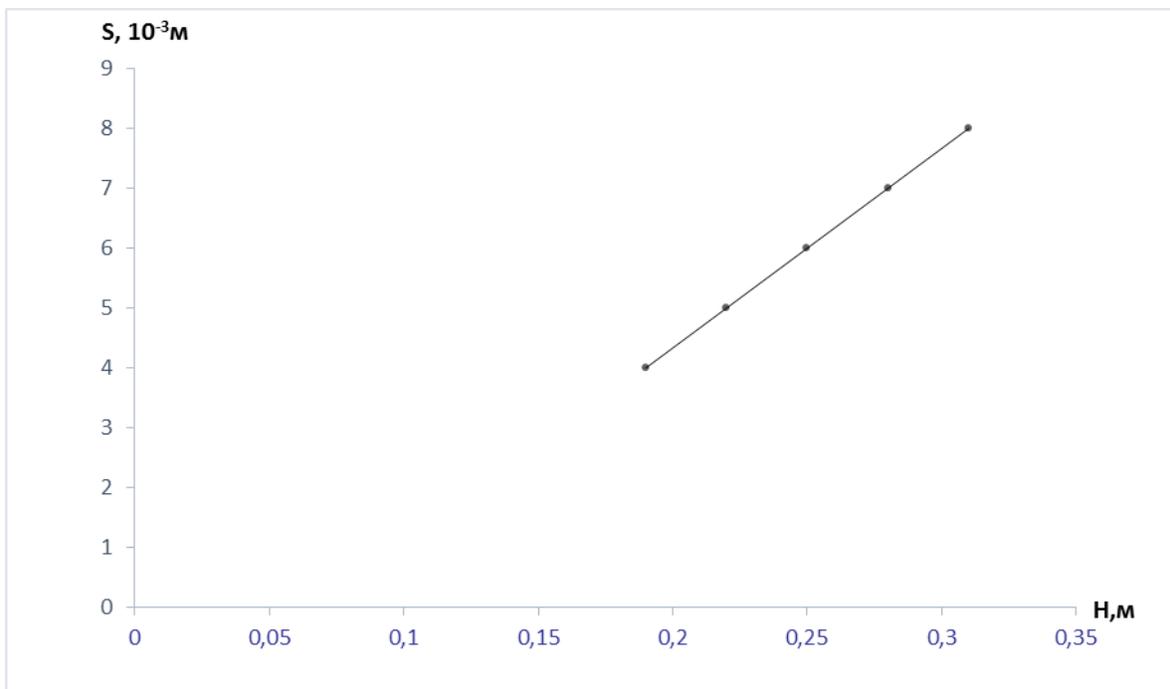


График 2. Зависимость силы сопротивления начальной высоты груза

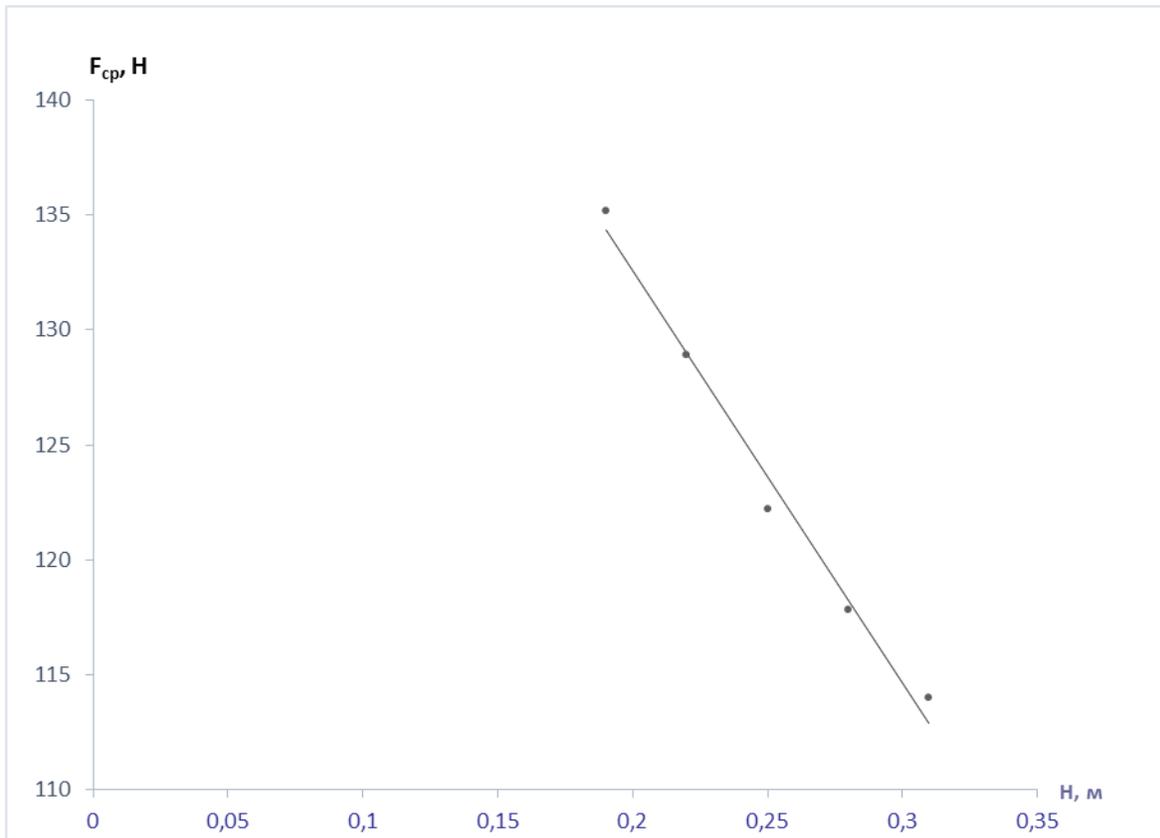
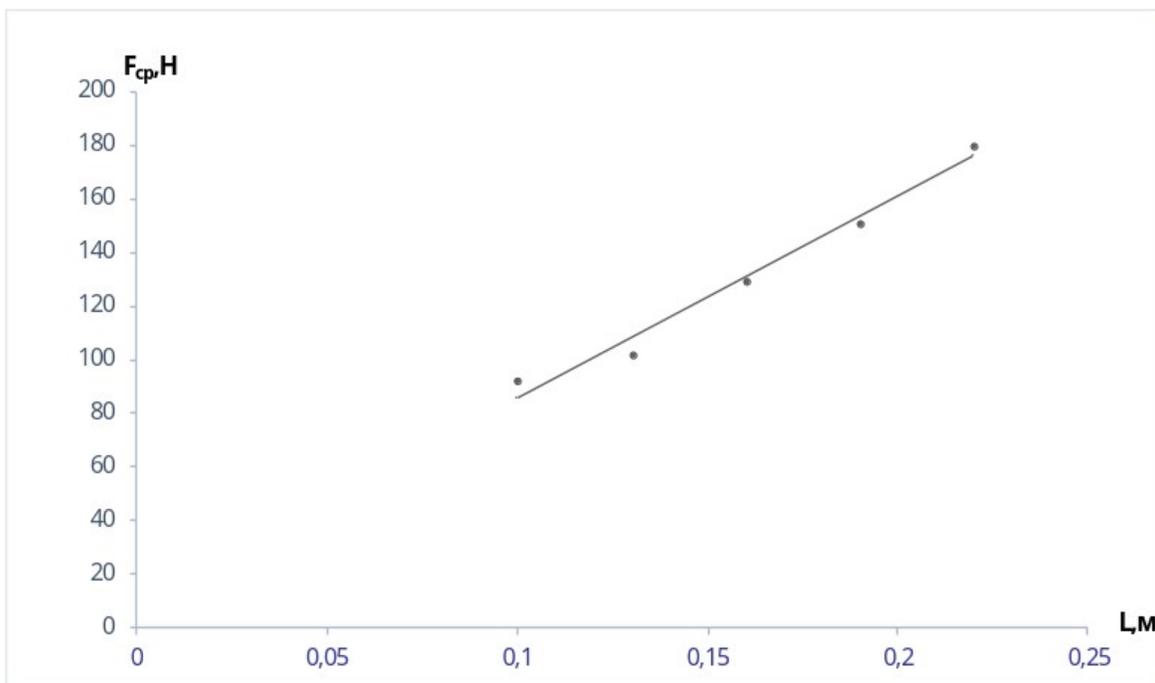


График 3. Зависимость силы от расстояния L



При максимальной начальной высоте груза:

$$v = \sqrt{2gH} \approx 1,97 \text{ м/с}$$

$$W = \frac{(m_1 - m_2)v^2}{2} \approx 0.55 \text{ Дж}$$

$$\Delta W = \frac{\frac{m_1 v_1^2}{2} \cdot \frac{m_2}{m_1 + m_2}}{2} \approx 0.077 \text{ Дж}$$

$$\delta = \frac{\Delta W}{W_0} = \frac{m_2}{m_1 + m_2} \cdot 100\% = 14\%$$

Вывод: В ходе эксперимента были найдены значения средней силы сопротивления груза при различных значениях начальной высоты сваи и установлена линейная зависимость. Также были найдены значения средней силы сопротивления при переменной удаленности груза на рычаге и установлена линейная зависимость и были вычислены погрешности (ΔH и $\Delta F_{\text{ср}}$). В модели Копра используют понятие средней силы сопротивления, так как на различных глубинах плотность грунта неодинакова. Так же было определено относительное уменьшение кинетической энергии системы $\delta = 14\%$