

УДК 531.7

**Д.Л. Нерадовский**

Нерадовский Денис Леонидович родился в 1979 г., окончил в 2002 г. Архангельский государственный технический университет, аспирант кафедры теоретической механики АГТУ. Область научных интересов – строительство и реконструкция зданий.



## МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДЛИНЫ СВАЙ В ПОЛИГОННЫХ УСЛОВИЯХ

Разработана методика определения ударным методом длины свай, заглубленных в грунт.

*Ключевые слова:* свая, методика, оборудование, результаты.

При проведении работ по реконструкции и ремонту зданий и сооружений обычно требуется знать величину заглубления свай в грунт основания. Ввиду давности постройки многих зданий необходимые данные проектной документации обычно оказываются утраченными. При проведении ремонта отдельных зданий, в частности для определения несущей способности свайного основания, их требуется восстановить.

Цель статьи – экспериментальное определение длины свай с помощью движущейся звуковой волны для расчета их несущей способности.

Экспериментальная работа выполнена в полигонных условиях на базе Кузнечевского комбината строительных конструкций и материалов (КСКМ), где были уложены штабеля свай. Рассмотрим общий случай определения скорости перемещения звуковой волны по свае, заглубленной в грунт (рис. 1). По верхнему торцу сечения сваи  $A-A$  производят удар, например молотом. Звуковая волна удара распространяется по длине сваи, достигает нижнего торца (сечение  $B-B$ ), отражается от него и перемещается вверх.

Согласно работе [1] скорость распространения волны удара можно найти по формуле

$$c = \sqrt{\frac{E}{\rho}}, \quad (1)$$

где  $E$  – модуль упругости материала сваи, Па;

$\rho$  – плотность материала сваи,  $\text{кг/м}^3$ .

По данным, полученным на Кузнечевском КСКМ, для железобетонных свай  $E = 3,53 \cdot 10^{10}$  Па;  $\rho = 2520$   $\text{кг/м}^3$ .

На расстоянии  $l_1$  от верхнего торца сваи установлен микрофон. Он регистрирует звуковые волны

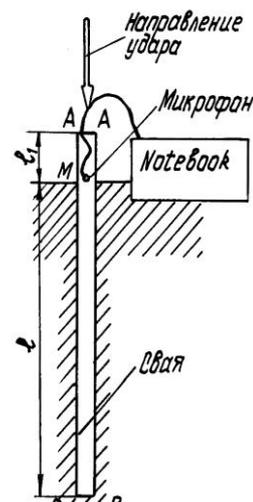


Рис. 1. Общий случай

удара в начальный момент  $t_1$  (после удара) и после отражения их при обратном ходе  $t_2$ . Звук удара, регистрируемый микрофоном, записывают на портативном компьютере Notebook в виде графика колебаний. Часть такой записи представлена на рис.2.

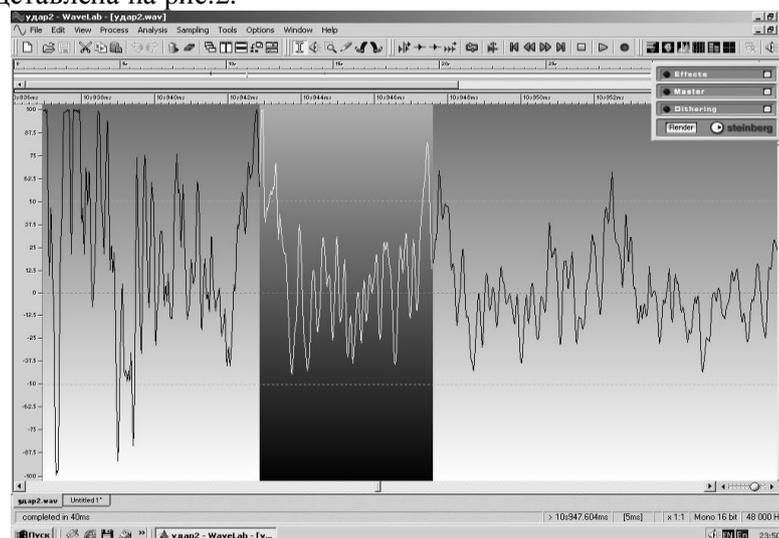


Рис. 2. График колебаний

Время движения звука на участке  $2MB$  находим по формуле

$$\Delta t = \frac{t_1 - t_2}{p}, \quad (2)$$

где  $t_1, t_2$  – время начала и конца движения, с;  
 $p$  – число пиков в интервале, шт.

Скорость распространения звуковой волны в материале сваи (м/с) находят по формуле [2]

$$c = \frac{2l}{\Delta t}. \quad (3)$$

Полная длина сваи

$$L = l + l_1. \quad (4)$$

Эта методика опробована в полигонных условиях, где на площадке уложены штабеля свай. Сначала с помощью рулетки измеряли длину  $L$  каждой сваи и определяли  $l_1$  и  $l$ . Затем каждую сваю нагружали ударной силой в одном из торцов (рис. 3). Анализ полученных звуковых волн произведен с помощью программного обеспечения: Sound Forge 5.0, WaveLab 4.0.

Определяли интервал между пиками звуковых волн. Для повышения точности результатов рассматривали интервалы с несколькими пиками и определяли среднее время движения звуковой волны  $\Delta t$  по формуле (3).

Полученные данные сведены в таблицу.

Статистический анализ материалов эксперимента производим с применением Microsoft Excel [3]. Здесь находим: среднее значение скорости звука в свае

$$c = \frac{\sum c_i}{n} = 3954,5 \text{ м/с},$$

где  $c_i$  – скорость звука в одной из свай, м/с;

$n$  – общее число свай, шт.;

дисперсию генеральной совокупности

$$\sigma^2 = \frac{n \sum c_i^2 - (\sum c_i)^2}{n^2} = 71224,4 \text{ (м/с)}^2.$$

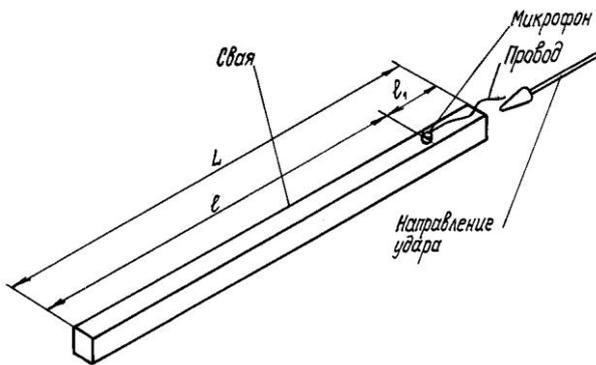


Рис. 3. Схема опыта

## Экспериментальные данные

№ сваи	$l$ , м	$l_1$ , м	$L$ , м	Время первой точки интервала $t_1$ , с	Время второй точки интервала $t_2$ , с	Количество пиков $p$ , шт.	Интервал времени $\Delta t$ , с	Скорость звука, м/с
1	14,35	0,64	13,71	3,492125	3,523375	5	0,006250	4387
2	14,35	0,64	13,71	3,354467	3,382857	5	0,005678	4829
3	14,35	0,64	13,71	5,679342	5,685828	1	0,006486	4228
4	14,35	0,64	13,71	3,303375	3,324375	3	0,007000	3917
5	14,35	0,64	13,71	3,255646	3,262562	1	0,006916	3965
6	12,3	0,56	11,74	3,663084	3,681542	3	0,006153	3816
7	12,3	0,56	11,74	4,687664	4,711764	4	0,006025	3897
8	12,3	0,56	11,74	3,819705	3,831474	2	0,005885	3990
9	12,3	0,56	11,74	3,518345	3,559615	7	0,005896	3983
10	12,3	0,56	11,74	1,781293	1,798435	3	0,005714	4109
11	12,3	0,56	11,74	3,684263	3,711701	4	0,006860	3423
12	12,3	0,56	11,74	6,405079	6,423356	3	0,006092	3854
13	12,3	0,56	11,74	3,259546	3,277347	3	0,005934	3957
14	12,3	0,56	11,74	2,792354	2,815896	4	0,005885	3989
15	12,3	0,56	11,74	6,29678	6,331293	5	0,006903	3402
16	12,3	0,56	11,74	3,768844	3,786848	3	0,006001	3912
17	12,3	0,56	11,74	5,11322	5,138413	4	0,006298	3728
18	12,3	0,56	11,74	4,126281	4,138345	2	0,006032	3893
19	12,3	0,56	11,74	7,108617	7,12102	2	0,006201	3786
20	12,3	0,56	11,74	4,163356	4,181406	3	0,006017	3902
21	7,95	0,5	7,45	5,297771	5,308696	3	0,003642	4092
22	7,95	0,5	7,45	2,497561	2,509023	3	0,003821	3900
23	7,95	0,5	7,45	5,10322	5,110522	2	0,003651	4081
24	7,95	0,5	7,45	3,663084	3,678084	4	0,003750	3973
25	7,95	0,5	7,45	1,781293	1,798293	4	0,004250	3506
26	7,95	0,5	7,45	3,255646	3,270946	4	0,003825	3895
27	7,95	0,5	7,45	2,491125	2,502125	3	0,003667	4064
28	7,95	0,5	7,45	7,118617	7,129017	3	0,003467	4298
29	7,95	0,5	7,45	2,364457	2,375251	3	0,003598	4141
30	7,95	0,5	7,45	2,456153	2,46762	3	0,003822	3898
31	7,95	0,5	7,45	3,259741	3,279486	5	0,003949	3773

Далее найдем сопутствующие величины:

медиана  $Me = 3917,1$ ;

стандартное отклонение  $\sigma = \sqrt{\sigma^2} = 266,88$  м/с;

доверительный интервал  $\Delta\bar{x}$  при уровне значимости  $\alpha = 0,05$ ,

$$\Delta\bar{x} = t \left( \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \right),$$

где  $t$  – квантиль нормального распределения, для  $\alpha = 0,05$   $t = 1,96$  [3].

$$\text{Тогда } \Delta\bar{x} = 1,96 \left( \frac{266,88}{\sqrt{31}} \right) = 93,95 \text{ м/с.}$$

В этом случае с вероятностью 95 % среднее значение скорости звука для генеральной совокупности находится в интервале  $3954,5 \pm 93,95$  м/с.

Коэффициент вариации  $V = \frac{\sigma}{c} = 0,07$ .

Проверка в полигонных условиях показала, что предложенная методика имеет достаточно высокую точность и может быть рекомендована к использованию на производстве. Для определения длины свай оборудуют место замеров необходимыми приборами; прикладывают к верхнему торцу сваи ударную нагрузку; замеряют время  $t_1$  и  $t_2$  и вычисляют  $\Delta t$ ; по формуле (3) находят заглубленную длину сваи  $l$ ; вычисляют полную длину сваи  $L = l + l_1$ .

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Расчет на прочность в машиностроении / С.Д. Пономарев, В.Л. Бигерман, К.К. Лихачев [и др.]. – М.: Гос. науч.-техн. изд. машиностроительной литературы, 1959. – 1120 с.
2. Морозов С.И. Удар двух тел: методические указания по решению задач / С.И. Морозов. – Архангельск: РИО АГТУ, 1996. – 56 с.
3. Теория вероятностей и математическая статистика в примерах и задачах с применением Excel / Г.В. Горелова, И.А. Кацко. – Ростов н/Д: Феникс, 2001. – 400 с.

Архангельский государственный  
технический университет

Поступила 11.10.04

*D.L. Neradovsky*

#### **Technique of Determining Pile Length in Test Ground Conditions**

Technique of determining the pile length buried in ground by stroke method is developed.

---