

*Вешняков Виктор Александрович, аспирант кафедры инженерной геотехники, оснований и фундаментов Архангельского государственного технического университета, г. Архангельск, Россия, Невзоров Александр Леонидович, доктор технических наук, ректор Архангельского государственного технического университета, г. Архангельск, Россия*

***Моделирование погружения свай с помощью программы «Plaxis dynamics»***

***Pile driving simulated with «PLAXIS Dynamics»***

Выполнено моделирование погружения забивной сваи с помощью программы «PLAXIS Dynamics» и сопоставлены результаты расчетных и фактических отказов.

A pile driving was simulated with «PLAXIS Dynamics» and calculation data and in-situ measurements was compared.

Фундаменты из забивных свай являются наиболее распространенными в г. Архангельске, что определено инженерно-геологическими условиями, опытом организаций-исполнителей, наличием сваебойной техники.

Производство работ по забивке свай сопровождается определением их несущей способности динамическим методом. Прогноз отказов при погружении свай позволяет проводить программа «PLAXIS Dynamics». Нами была поставлена цель сравнить расчетные и фактические значения отказов. На рассматриваемой строительной площадке погружали сваи сечением 30×30 см длиной 10 м с помощью дизель-молота с массой ударной части 1,8 т и высотой падения 1,5 м.

Расчетные значения получали моделированием погружения свай в динамическом модуле расчетного комплекса «PLAXIS». Моделирование выполняли в условиях осесимметричной задачи (рис. 1). Для сваи использовали линейно-упругую модель, учитывающую поведение непористого материала. Для слоев грунта использовали модель Кулона-Мора, тип их поведения принимали как недренированный.

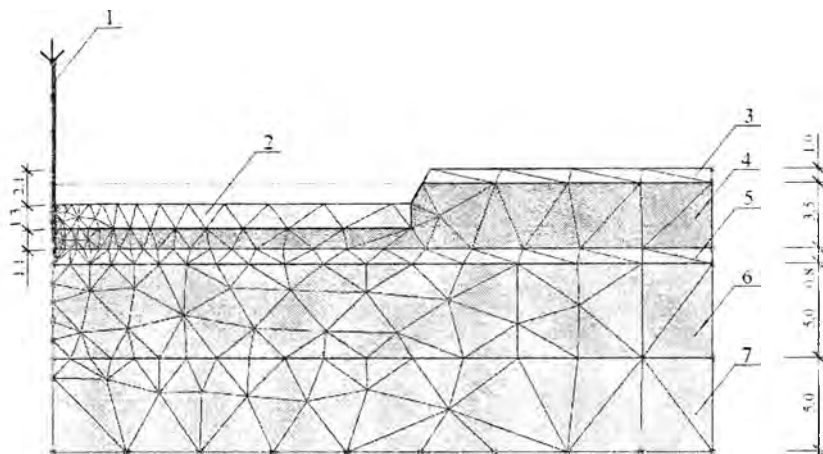


Рис. 1. Расчетная модель погружения сваи на площадке строительства:  
 1 – погружаемая железобетонная свая; грунты: 2 – насыпной песчаный слой;  
 3 – техногенные отложения; 4 – торф; 5 – суглинок тугопластичный; 6 – суглинок  
 тугопластичный; 7 – суглинок твердый

Динамическая жесткость грунта обычно выше его статической жесткости, так как динамические нагрузки из-за краткосрочности приложения вызывают незначительные деформации. В исходные данные моделей грунтов необходимо вводить значения модуля Юнга  $E$ , а не модуля деформации, который определяется в ходе инженерно-геологических изысканий. Модуль  $E$  можно определить по известной зависимости скорости продольной волны  $V_p$  [1]:

$$E = \frac{V_p^2 \cdot \rho \cdot (1 + \nu) \cdot (1 - 2\nu)}{(1 - \nu)}, \quad (1)$$

где	$\rho$	–	плотность (грунта);
	$\nu$	–	коэффициент Пуассона

Значения  $\nu$  приняты по литературе [2, 3]. Задаваясь значениями скоростей распространения упругих продольных волн [1, 4, 5] определили  $E$ . Исходные данные моделей представлены в табл. 1 и 2.

Таблица 1

## Исходные данные моделей грунтов

Параметр	Обозначение, ед. изм	Песок ( $t_{IV}$ )	Торф ( $p_{IV}$ )	Суг-линок ( $lg_{III}$ )	Суг-линок ( $g_{III}$ )	Суг-линок ( $m_{III}$ )
Модель грунта	<i>Model</i>	М-К	М-К	М-К	М-К	М-К
Тип поведения грунта	<i>Type</i>	Не-дрен.	Не-дрен.	Не-дрен.	Не-дрен.	Не-дрен.
Удельный вес грунта	$\gamma_{мгчг}$ , кН/м <sup>3</sup>	18,6	8,2	20,0	21,2	21,3
Удельный вес насыщенного грунта	$\gamma_{нат}$ , кН/м <sup>3</sup>	20,0	10,1	20,1	21,5	21,5
Проницаемость в горизонтальном направлении	$k_x$ , м/сут	1,0	0,010	0,010	0,010	0,010
Проницаемость в вертикальном направлении	$k_y$ , м/сут	1,0	0,001	0,010	0,010	0,010
Скорость продольной волны	$V_p$ , кН/м <sup>2</sup>	225	70	205	220	245
Коэффициент Пуассона	$\nu$	0,30	0,12	0,35	0,35	0,35
Модуль Юнга	$E$ , МН/м <sup>2</sup>	71,30	3,96	53,39	65,17	81,20
Удельное сцепление	$c$ , кН/м <sup>2</sup>	1	8	32	70	80
Угол внутреннего трения	$\varphi$ , град.	30	10	7	9	14
Угол дилатансии	$\psi$ , град.	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Таблица 2

## Исходные данные модели сваи

Параметр	Обозначение, ед. изм.	Свая
Модель материала	<i>Model</i>	Линейно-упругая
Тип поведения материала	<i>Type</i>	Непористый.
Удельный вес	$\gamma_{мгчг}$ , кН/м <sup>3</sup>	24,0
Модуль Юнга	$E$ , МН/м <sup>2</sup>	$27 \cdot 10^3$
Коэффициент Пуассона	$\nu$	0,2

Сетка конечных элементов системы основание-свая создана при глобальной крупности, установленной на значение «Coarse» («Крупная»), в кластерах сваи использовали глобальное измельчение. Задав уровень грунтовых вод, генерировали гидростатическое поровое давление. Начальные эффективные напряжения созданы с помощью процедуры « $K_0$ », по которой соотношение между горизонтальными и вертикальными эффективными напряжениями определяется эмпирическим выражением Яки  $K_0 = 1 - \sin \varphi$ .

Нами было промоделировано 7 задач, для каждой из них положение острия сваи было различным по глубине: от кровли озерно-ледниковых отложений ( $I_{gIII}$ ), до отметки на 1 м ниже кровли морских отложений ( $m_{III}$ ).

Задачи имели одинаковые расчетные этапы: разработка котлована с частичной выторфовкой, подготовка дна котлована подсыпкой песка, создание сваи, удар падающей части молота по свае и свободное погружение сваи от удара.

Время удара молота по голове сваи  $t$  принято равным 0,01 с. За это время нагрузка, заданная гармоническим нагружением, проходит половину цикла, изменяясь от нуля до своего амплитудного значения  $F_{\alpha}$  и затем вновь падает до нуля.

Для молота одностороннего действия скорость падающей части в начале удара определяли по формуле [6]:

$$v = 0,9\sqrt{2gh_0}, \quad (2)$$

где  $h_0$  – высота падения ударной части молота;  
 $g$  – ускорение свободного падения,  $g=9,81$  м/с<sup>2</sup>.

После расчета всех стадий с помощью программы построения кривых определяли погружение острия сваи. На рис. 2 в качестве примера представлена зависимость вертикальных перемещений острия сваи во времени в озерно-ледниковом суглинке.

Значения фактических и расчетных отказов представлены на рис. 3. Фактические значения были определены, как средние при забивке трех свай. Совпадение графиков говорит о том, что с помощью программы «PLAXIS Dynamics» можно довольно точно моделировать погружение свай, а значит, прогнозировать их несущую способность.

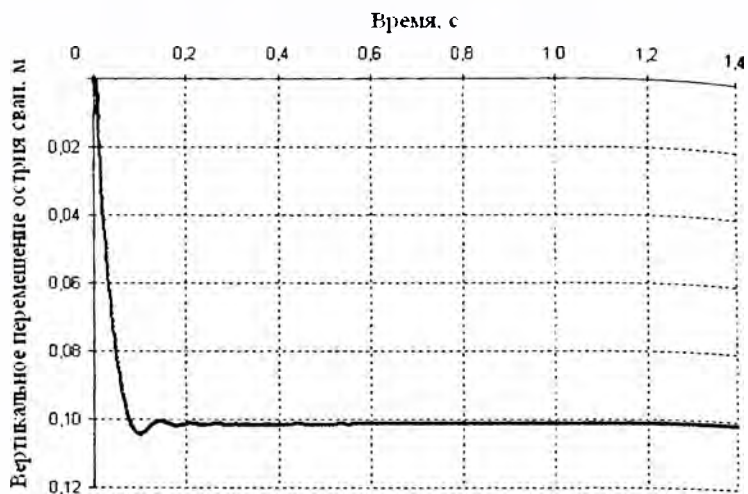


Рис. 2. Вертикальное перемещение острья свай во времени

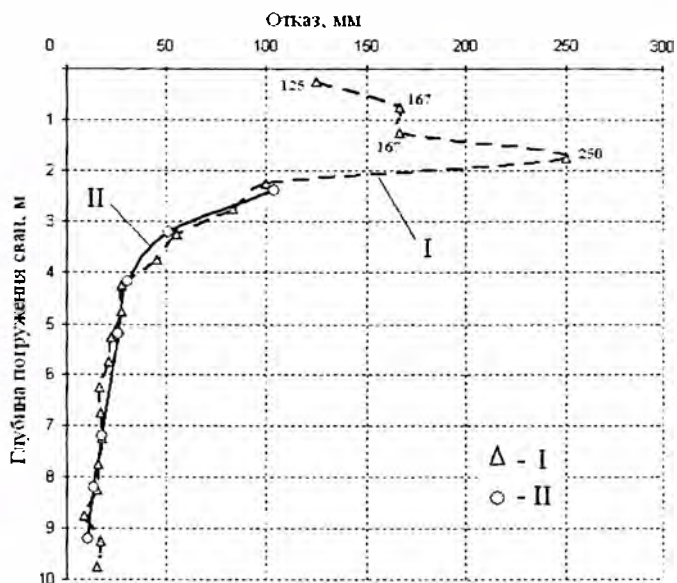


Рис. 3. Отказы свай:  
I – фактические; II – расчетные

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сейсморазведка. Справочник геофизика / под ред. И.И. Гурвича, В.П. Номоконова. – М.: Недра, 1981. – 464 с.
2. ГОСТ 12248-96. Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости. – М.: Изд-во стандартов, 1996. – 24 с.
3. Вешняков, В.А. Определение коэффициента Пуассона торфяного грунта / В.А. Вешняков, А.Л. Невзоров // Геотехника: научные и прикладные аспекты строительства надземных и подземных сооружений на сложных грунтах: сб. трудов. – СПб.: СПбГАСУ, 2008. – С.109–112.
4. Справочник по защите от шума и вибрации жилых и общественных зданий / В.И. Заборов, М.И. Могилевский, В.Н. Мякшин, Е.П. Самойлюк; под ред. В.И. Заборова. – Киев: Будивэльник, 1989. – 160 с.: ил.
5. Евгеньев, И.Е. Земляное полотно автомобильных дорог на слабых грунтах / И.Е. Евгеньев, В.Д. Казарновский. – М.: Транспорт, 1976. – 271 с.
6. СНиП 2.02.05-87. Фундаменты машин с динамическими нагрузками. – Изд. офиц. – М.: Госстрой СССР, 1988. – 32 с.