

и молодежной политики Российской Федерации от 7.05.2010 № 461 // Бюллетень нормативных актов федеральных органов исполнительной власти. – 2011. – № 14.

7. Полянский, А.Т. Архитектура комплексов отдыха / А.Т. Полянский. – М.: Стройиздат, 1988. – 240 с.

8. Поморов, С.Б. Отдых и туризм в горах и предгорьях Алтая. Архитектурно-градостроительная организация объектов рекреации: монография / С.Б. Поморов. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2008. – 167 с.

9. Размадзе, Н.А. Размещение, планировка и застройка горных рекреационных комплексов (в условиях Грузинской ССР) / Н.А. Размадзе. – Тбилиси: Мецниерба, 1975. – 149 с.

Стаускас, В.П. Градостроительная организация районов и центров отдыха / В.П. Стаускас. – Л.: Стройиздат, 1977. – 164 с.

Морозова Н.В. - к.арх., доцент, Институт архитектуры и дизайна Алтайского государственного технического университета, E-mail: Morozna82@mail.ru.

УДК 624.154.001.4

НАТУРНЫЕ ИСПЫТАНИЯ МНОГОВИТКОВЫХ ВИНТОВЫХ СВАЙ НА ДЕЙСТВИЕ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ СИЛ И МОМЕНТОВ В ПЕСЧАНЫХ ГРУНТАХ АЛТАЙСКОГО КРАЯ

И.В. Носков, И.В. Заикин, А.В. Копылов

В статье приведены экспериментально – теоретические результаты характера взаимодействия многовитковой сваи с грунтовым основанием, графики компьютерного моделирования работы сваи в условиях натурального эксперимента, описание натурального эксперимента согласно выбранной методике испытаний и экспериментального оборудования, приводятся результаты испытаний и сравнение полученных результатов с расчетами, проведенными с помощью ЭВМ.

Ключевые слова: грунт, многовитковая свая, моделирование, натуральный эксперимент.

ВВЕДЕНИЕ

Работу многовитковых винтовых свай на действие горизонтальных сил и моментов можно считать частным случаем работы висячей металлической сваи имеющей форму полого круга в поперечном сечении. Исходя из этого, основы ее работы схожи с работой свай такого типа. Известно, что несущая способность горизонтально нагруженного свайного фундамента во многом зависит от характера его деформирования в грунте.

В настоящее время существует общепринятая классификация свай:

- короткие жесткие;
- короткие гибкие;
- длинные гибкие.

Короткая жесткая горизонтально нагруженная свая со свободной головой поворачивается в грунте без изгиба. Короткие гибкие горизонтально нагруженные сваи поворачиваются в грунте с изгибом.

Длинная гибкая свая изгибается в грунте без поворота благодаря возникновению на некоторой глубине пластического шарнира.

Характер работы винтовой сваи в грунте и методы ее расчета на воздействие горизон-

тальных сил и моментов будет определяющим образом зависеть от того, к какому классу по гибкости будет относиться конкретный тип сваи. Наиболее подходящая формула для определения характера работы сваи является формула предложенная В. Broms (1964 г.) [1]

$$\lambda = (c/4EI)^{1/4}, \quad (1)$$

где $c = kd$; d – диаметр сваи; k – коэффициент постель грунта; EI – жесткость поперечного сечения сваи.

А.С. Буслов выразил коэффициент c через характеристики грунтового основания E и ν . Для этого он воспользовался полученным В. Lain (1963 г.) соотношением

$$c = 0.65E/(1 - \nu). \quad (2)$$

И получил следующую формулу для определения показателя гибкости сваи

$$\lambda = 0.635[E/(1 - \nu^2)E_s I]^{1/4}. \quad (3)$$

Для сваи со свободной головой при:
 $\lambda I \leq 1.5$ – короткая жесткая свая;

$1.5 < \lambda I < 2.5$ – короткая гибкая свая;
 $\lambda I > 2.5$ – длинная гибкая свая.

Таким образом, изменение глубины погружения свай, характеризуемое отношением l/d , приводит к изменению характера деформаций ее от поворота в грунте без изгиба до изгиба без горизонтальных смещений нижних концов свай.

При горизонтальном нагружении сваи основное сопротивление грунт оказывает в верхней её части, а в нижней оно проявляется лишь на больших глубинах. Кроме того, верхняя зона сваи, участвующая в работе, увеличивается с возрастанием прикладываемой нагрузки. Далее свая будет работать по одному из 3-х сценариев (описанных выше), в зависимости от ее жесткости и типа грунта.

Из экспериментальных данных следует, что зависимость перемещения сваи от нагрузки нелинейная.

Точность современных методов расчета свай на горизонтальную нагрузку во многом определяется достоверностью исходной инженерно-геологической информации о грунтах основания. Прежде всего, это относится к данным о деформационных свойствах грунтов в горизонтальном направлении. В формуле расчета для определения характера работы свай за деформационные характеристики грунта отвечает коэффициент постели k .

Зависимость коэффициента постели от глубины заложения, разработанная В.В. Шахиревым, [2] принята в виде

$$k = k_l \left(\frac{x}{l}\right)^u, \quad (4)$$

где k – коэффициент постели при глубине x ; k_l – коэффициент постели на глубине l ; x – текущая координата; u – показатель, учитывающий степень развития пластических деформаций в околосвайном грунте.

Погонное давление грунта $g(x)$ принимается в виде

$$g(x) = b(x)ku(x), \quad (5)$$

где $b(x)$ – ширина сваи на глубине x ; $u(x)$ – горизонтальное перемещение.

Величины k_l и u определены экспериментально для любых типов грунтов.

Данная методика позволяет определить коэффициент постели грунтового основания с произвольным чередованием слоев с различными деформационными характеристиками

$$k_{x_i} = k_{l_i} \left(\frac{x_i}{l}\right)^u, \quad (6)$$

$$g(x_i) = b(x_i)k_{x_i}u(x_i). \quad (7)$$

Условия равновесия для сваи предложено определять как

$$H = \sum_{i=1}^n \int_{x_{i-1}}^{x_i} g(x_i) dx, \quad (8)$$

$$M_{x_i} = \sum_{j=1}^n \int_{x_{j-1}}^{x_j} g(t_j)(x_i - t_j) dt. \quad (9)$$

Коэффициент постели был подобран и уточнен по данным геологического строения площадки испытаний.

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Для прогнозирования результатов работы многолопастных винтовых свай на действие изгибающих сил и моментов на кафедре ОФИГиГ АлтГТУ им. И.И. Ползунова была проведена компьютерная симуляция (рисунок 1). По результатам расчетов, проведенных для винтовых свай диаметром 76 мм, было установлено, что сваи длиной до 2,0 м работают по схеме «короткий гибкий стержень», а сваи длиной 2,5 м и выше работают по схеме «длинный гибкий стержень».

Были рассчитаны сваи с диаметрами поперечного сечения 76 и 114 мм и длинами 2,0 м, 2,5 м и 3,0 м для каждого вида соответственно. Были получены деформации свай при приложении к оголовку усилия равного 20 кН.

Результаты моделирования показали, что сваи длиной до 2,0 м работают по схеме «короткий гибкий стержень», а сваи 2,5 м и выше работают по схеме «длинный гибкий стержень», что соответствует расчетам. Двухметровые винтовые сваи изогнулись в грунте с небольшим перемещением нижнего конца сваи в сторону противоположную приложенной нагрузке. У сваи 2,5 м образовался пластический шарнир, в результате которого были получены значительные перемещения верхней части сваи и незначительные нижнего конца сваи в направлении приложения нагрузки.

Сваи длиной 3,0 м показали сложную деформацию с образованием двух пластических шарниров, которые привели к изгибу центральной части сваи в сторону противоположную приложенной нагрузки с значительным перемещением верхнего конца сваи.

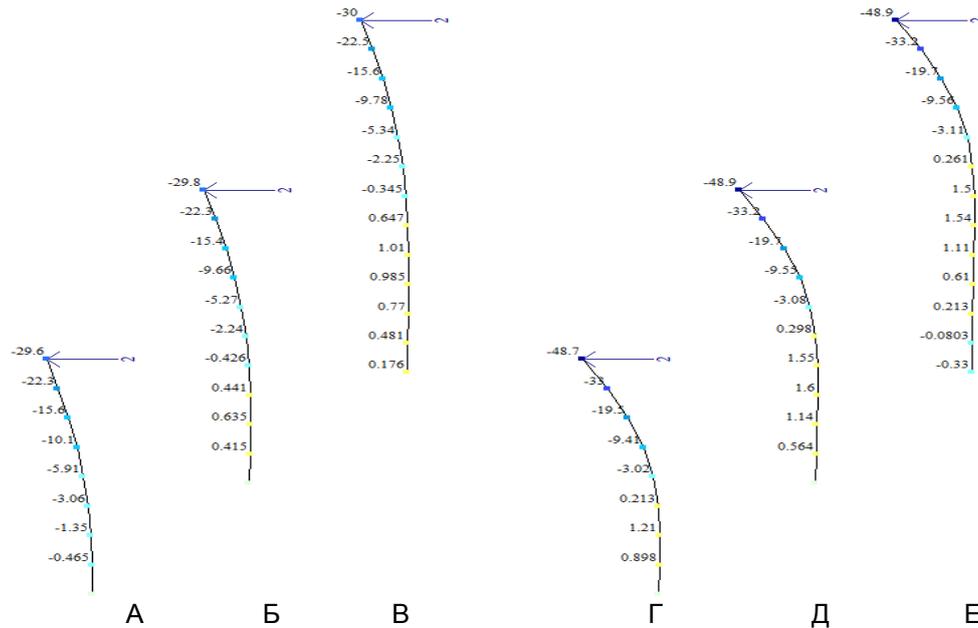


Рисунок 1 – Результаты компьютерного моделирования работы винтовой сваи в грунте: А – Ф114 L2,0 м; Б – Ф114 L2,5 м; В – Ф114 L3,0 м; Г – Ф76 L2,0 м; Д – Ф76 L2,5 м; Е – Ф76 L3,0 м

Несущая способность сваи диаметром Ф76 см существенно не изменяется с увеличением длины сваи. В то же время несущая способность увеличивается с увеличением диаметра сваи.

Сваи диаметром 114 см показали значительно меньшее перемещение при схожих нагрузках. Это можно объяснить характером работы сваи в грунте, т.е. свая работает преимущественно верхней частью.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Цели эксперимента:

- ✓ Разработка модели и экспериментально-теоретических зависимостей по определению сопротивления многорядовых винтовых свай горизонтальному сдвигу, позволяющей прогнозировать процессы, происходящие со сваями во время их работы по восприятию горизонтальных сил и моментов.
- ✓ Учет совместной работы грунтового основания и винтовых свай при воздействии горизонтальных сил и моментов в грунтовых условиях региона с применением современной техники и программного обеспечения.
- ✓ Внесение корректировок в методики расчета винтовых свай на действие горизонтальных сил и моментов с учетом полученных экспериментальных данных.

Согласно программе исследования использовалась экспериментальная установка в соответствии с требованиями ГОСТ 5686-94 «Методы полевых испытаний сваями» [3].

Данная установка также рекомендована пособием Метелюка А.И. «Сваи и свайные фундаменты» [4] для испытаний совместного действия на сваю горизонтальных сил и изгибающего момента. Установка имеет ряд положительных качеств, которые определяют выбор, а именно: простота сборки, надежность, мобильность (возможность быстро перевезти установку на другие испытательные площадки).

Установка состоит из распорной балки 3 (рисунок 2), устанавливаемой между двумя сваями 1 подлежащих испытанию, гидравлического домкрата 2 с манометром 5 для передачи горизонтального усилия на сваи, двух металлических накладок, обеспечивающих совпадение оси домкрата с геометрическими осями свай.

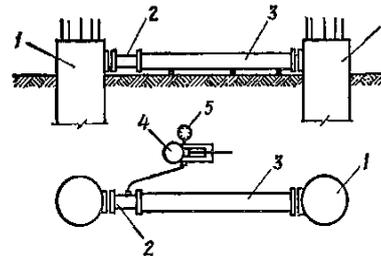


Рисунок 2 – Установка для испытания свай на горизонтальную нагрузку: 1 – испытываемая свая, 2 – гидродомкрат, 3 – распорная балка, 4 – насосная станция, 5 – манометр

НАТУРНЫЕ ИСПЫТАНИЯ МНОГОВИТКОВЫХ ВИНТОВЫХ СВАЙ НА ДЕЙСТВИЕ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ СИЛ И МОМЕНТОВ В ПЕСЧАНЫХ ГРУНТАХ АЛТАЙСКОГО КРАЯ

Гидравлический домкрат обладает грузоподъемностью 30 тс и позволяет обеспечить плавность загрузки и обеспечить непрерывный контроль над нагрузкой по образцовому манометру. Для измерения горизонтальных и вертикальных перемещений головы сваи применяются индикаторы часового типа ИЧ-50 (цена деления 0,01 мм) и прогибомеры Максимова ПМ-3 (цена деления 0,1 мм). Держатели приборов устанавливаются на расстоянии 0,8 м от центра испытываемых свай, что составляет не менее 7 диаметров свай.

МЕТОДИКА ИСПЫТАНИЙ

Полевые испытания свай проводят по ГОСТ 5686-94 [3] для определения несущей способности и перемещении (деформаций) для последующего сравнения полученных данных с расчетными, принятыми в проекте.

Определение несущей способности свай по результатам полевых испытаний регламентируются СП 24.13330.2011 [5], а также СП 50-102-2003 «Проектирование и устройство свайных фундаментов» [6].

Программа испытаний составлена с учетом требований действующих нормативных документов, а так же с учетом экспериментального опыта, полученного ранее при проведении испытаний.

Согласно ГОСТ [3], расстояние от оси испытываемой натурной сваи до анкерной сваи или до ближайшей опоры грузовой платформы, а также до опор реперной установки должно быть не менее 5 наибольших размеров поперечного сечения сваи (диаметром до 800 мм), но не менее 2 м. Поэтому расстояние между осями испытываемых свай принято равным 2 м.

При статических испытаниях рабочих свай нагрузка, приложенная к ним, не должна превышать расчетную, умноженную на коэффициенты 1,1-1,5. Величина ступени нагрузки принимается 1/10 предполагаемой нормативной горизонтальной нагрузки на сваю.

На каждой ступени нагружения натурной сваи снимают отсчеты по всем приборам для измерения деформаций в следующей последовательности: нулевой отсчет – перед нагружением сваи, первый отсчет – сразу после приложения нагрузки, затем последовательно четыре отсчета с интервалом 30 минут и далее через каждый час до условной стабилизации деформации (затухания перемещения).

Горизонтальное перемещение головы сваи при заданной ступени нагрузки считается стабилизированным, если его приращение составляет не более 0,01 мм при расположении сваи (до глубины ее заделки) в песках – за последний час, в глинистых грунтах – за последние 2 часа.

Испытания свай на горизонтальную нагрузку решено проводить следующим способом: после стабилизации перемещений на каждой ступени нагрузки переходят сразу к следующей ступени. В конце загрузки производят полную разгрузку.

На последнем этапе испытания в соответствии с ГОСТ [3] нагрузка на сваи доводят до величины, вызывающей перемещение не менее чем на 50 мм – для полых круглых свай, свай-оболочек и набивных с уширенной пятой.

РЕЗУЛЬТАТЫ ПОЛЕВОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

Полевой эксперимент был проведен на площадке расположенной в г. Барнаул, Змеиногогорский тракт 110 территория онкологического центра «Надежда». Геологическое строение площадки до глубины 5 м:

1. Почвенный слой мощностью 0,4-0,6 м
2. Песок средней крупности.

В эксперименте участвовало три группы винтовых свай диаметром 76 мм длиной 2,0 м, 2,5 м и 3,0 м, по 8 образцов.

Общие геометрические характеристики свай:

- диаметр внешний Ф76,1 мм;
- диаметр внутренний Ф68,6 мм;
- диаметр резьбы М24;
- толщина фланца 8 мм.

Согласно методике эксперимента образцы свай одного вида проходили испытания попарно. Таким образом, для каждого вида свай было проведено по 4 эксперимента.

В результате полевого эксперимента были получены графики зависимости перемещения оголовков свай от приложенной нагрузки (рисунки 3-6). В результате эксперимента были получены графики зависимостей деформирования свай от прикладываемой нагрузки.

Из графиков видно, что несущая способность свай одного диаметра существенно не отличается.

По графикам деформаций перемещений были построены линии тренда и подобраны функции, что позволило определить несущую способность сваи в случае перемещения ее верхней части на 1, 2, 3 и 4 см. По графику

видно, что винтовые сваи разной длины ра-

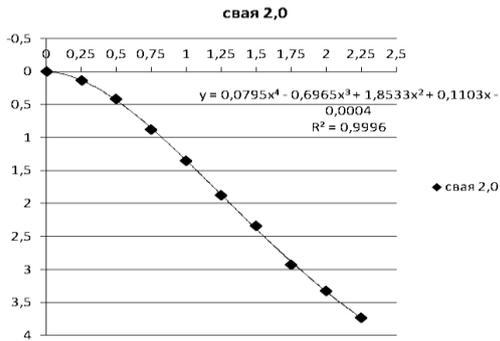


Рисунок 3 – График зависимости «нагрузка-перемещение» для сваи длиной 2,0 м

ботают одинаково на всех этапах загрузки.

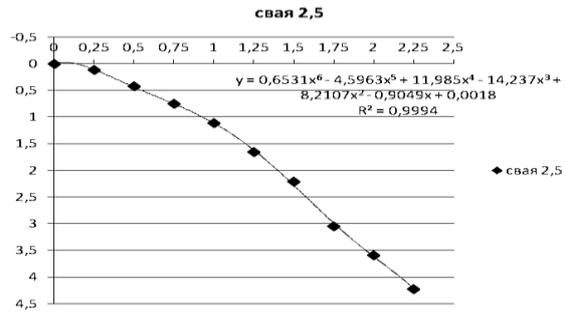


Рисунок 4 – График зависимости «нагрузка-перемещение» для сваи длиной 2,5 м

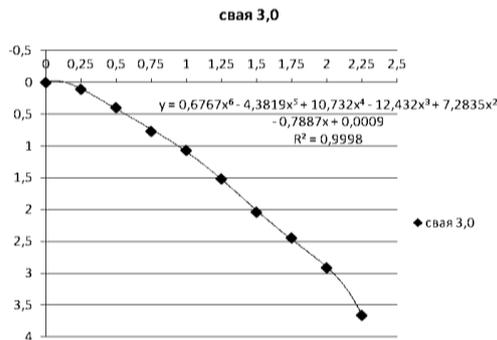


Рисунок 5 – График зависимости «нагрузка-перемещение» для сваи длиной 3,0 м

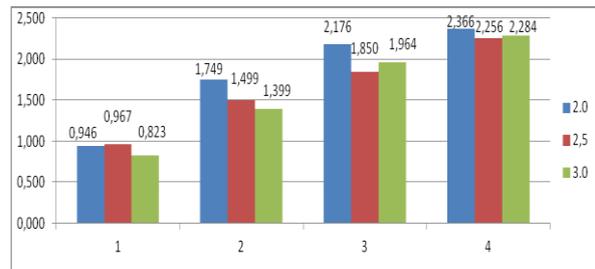


Рисунок 6 – График средних значений нагрузки при перемещении головы сваи на 1, 2, 3 и 4 см соответственно

ВЫВОДЫ

Сравнение компьютерного моделирования работы сваи и полевого эксперимента показывает, что многорезцовые винтовые сваи работают преимущественно своей верхней частью, при этом винтовые лопасти не включаются в работу за счет характера работы сваи в грунте. Несущая способность сваи не зависит от ее длины, а зависит от ее диаметра (жесткости поперечного сечения).

В данных грунтовых условиях и данной жесткости сваи работают как длинный гибкий и короткий гибкий стержень. Существенное различие несущей способности в моделировании и натурном эксперименте объясняется тем, что компьютерная модель не учитывает нелинейную работу сваи, а так же наличием коэффициента пропорциональности, зависящего от грунтовых условий, которые определяют некоторый запас прочности при компьютерном моделировании сваи. В целом натуральный эксперимент подтвердил компьютерное моделирование работы сваи. Для увеличения несущей способности сваи на действие горизонтальных сил и моментов рекомендуется разместить винтовые лопасти в верхней части сваи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Broms-Bent B. Lateral resistance of piles in cohesionless soil // Journal of the Soil Mechanics and Foundations Div. – Vol. 90. – № 3.
2. В.В. Шахирев, А.А. Рывкин Расчет коротких жестких свай переменного сечения с уширением на горизонтальную нагрузку при действии внешнего момента и вертикальной силы // Проблемы свайного фундаментостроения [Текст]: труды 3 Междун. конф. Ч. 1. – [Б. м.: б. и.], 1992. – С. 187-189.
3. ГОСТ 5686-94. Грунты. Методы полевых испытаний сваями. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 1996. – 51 с.
4. Мителюк Н.С. Сваи и свайные фундамент: справочное пособие / Н.С. Мителюк. – Киев. – Изд-во «Будивельник». – 1977. – 256 с.
5. СП 24.13330.2011 Свайные фундаменты. Актуализированная редакция СНиП 2.02.03-85.
6. СП 50-102-2003. Проектирование и устройство свайных фундаментов.

Носков И.В. – к.т.н., профессор, E-mail: noskov.56@mail.ru; **Заикин И.В.** – аспирант, Алтайский государственный технический университет; **Копылов А.В.** – инженер, ООО «Алтайгражданпроект».