

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ОЦИНКОВАННЫХ МНОГОЛОПАСТНЫХ ВИНТОВЫХ СВАЙ ПО ДЕЙСТВИЮ КРУТЯЩЕГО МОМЕНТА

И. В. Носков¹, А. В. Копылов²

¹ Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, г. Барнаул

² ООО «ГеоПроектСтройАлтай», г. Барнаул

В статье описывается порядок проведения эмпирических исследований работы и определения несущей способности оцинкованных многолопастных винтовых свай по действию крутящего момента, сравнение несущей способности, полученной экспериментально и теоретически, разработка математической зависимости несущей способности винтовых свай от среднего значения крутящего момента.

Ключевые слова: винтовая свая, многолопастная свая, фундамент, испытание свай, несущая способность, крутящий момент.

Исследование работы и определение несущей способности винтовых свай по действию крутящего момента в данной работе производился такими эмпирическими методами исследования, как эксперимент и измерение. Программа эксперимента разработана на основе ГОСТ 5686-2012 «Грунты. Методы полевых испытаний сваями» и ASTM D1143 / D1143M – 07(2013) Standard Test Methods for Deep Foundations Under Static Axial Compressive Load (Стандартные методы испытания глубоких фундаментов, воспринимающих статическую центральную сжимающую нагрузку). Эксперимент определения несущей способности винтовых свай в полевых условиях производился методом статического испытания винтовых свай вдавливающей нагрузкой различной номенклатуры на одной опытной площадке. Проведены испытания пяти типоразмеров винтовых свай по два экземпляра каждого, всего 10 статических испытаний свай на вдавливающие нагрузки. Используются следующие типоразмеры из номенклатуры винтовых фундаментов торговой марки «BAU» (сертификат соответствия № РОСС RU.АГ43.Н02122):

1. FM24 76×(3,5)×1500. Общая длина 1,5 м, внешний диаметр 76,2 мм, толщина стенки трубы 3,5 мм.

2. FM24 76×(3,5)×2000. Общая длина 2,0 м, внешний диаметр 76,2 мм, толщина стенки трубы 3,5 мм.

3. FM24 76×(3,5)×2500. Общая длина 2,5 м, внешний диаметр 76,2 мм, толщина стенки трубы 3,5 мм.

4. FM24 76×(3,5)×3000. Общая длина 3,0 м, внешний диаметр 76,2 мм, толщина стенки трубы 3,5 мм.

5. FM24 76×(3,5)×3500. Общая длина 3,5 м, внешний диаметр 76,2 мм, толщина стенки трубы 3,5 мм.

Для испытаний винтовых свай в полевых условиях применяется унифицированная мобильная, сборно-разборная установка, разработанная на кафедре ОФИГиГ АлтГТУ под руководством заведующего кафедрой к.т.н. Носкова И.В. УУ-ВСК представляет собой сборно-разборную металлическую стержневую конструкцию пирамидального типа с треугольным основанием, рассчитанную на нагрузку до 300 кН (рисунок 1).

Крутящий момент измеряется при помощи датчика крутящего момента Delta IKM 60, установленного на оборудование для закручивания свай. Для закручивания испытываемых и анкерных свай используется самоходная установка. Испытания проводились на площадке «Первой очереди строительства микрорайона № 1 в г. Новоалтайске».



Рисунок 1 – Схема УУ-ВСК для испытания на вдавливание

Отчет об инженерно-геологических изысканиях шифр 88-13/ИГИ [3]. В качестве грунта основания при испытаниях принят инженерно-геологический элемент № 2 (ИГЭ-2) – супесь лессовидная просадочная высокопористая твердой консистенции ($I_L < 0$). Мощность ИГЭ-2 и абсолютные отметки принимаются по скважине С-11, как ближайшей к площадке проведения испытаний. Нормативные и расчетные значения характеристик ИГЭ-2 приведены в таблице 1.

Согласно п. 7.2.3 [4] испытания свай производятся после «отдыха» продолжительностью 1 сутки с целью стабилизации в грунте поровых давлений до начального уровня (таблица 2).

Нагружение винтовой сваи производится равномерно, ступенями нагрузки, равными 1/4 от несущей способности вычисленной согласно методике, приведенной в п. 7.2.10 [5], п. 4.1 [6] и п. 7.2.6 [7]

$$F_d = \gamma_c [(\alpha_1 c_1 + \alpha_2 \gamma_1 h_1) A + u f_i (h - d)]$$

Снятие отчетов производится на каждой ступени нагружения по всем приборам в следующей последовательности:

- нулевой отсчет – перед нагружением сваи;
- первый отсчет – сразу после приложения нагрузки;
- последовательно три отсчета с интервалом 30 мин и далее через каждый час до затухания перемещения.

Критерий условной стабилизации – осадка сваи на данной ступени нагружения, не превышающую 0,25 мм за последние 60 мин наблюдений для глинистых грунтов от твердой до тугопластичной консистенции, но не более, чем 2 часа. В любом случае нагрузка при испытании должны быть доведена до значения, при котором общая осадка составляет не менее 40 мм.

Разгрузка сваи производится после достижения наибольшей нагрузки ступенями, равными удвоенным значениям ступеням нагружения. Выдержка каждой ступени составляет 15 мин. Отчеты снимаются сразу после каждой ступени и через 15 мин.

После полной разгрузки производится наблюдение за упругим перемещением сваи в течение 60 мин со снятием отчета каждые 15 мин. Графики зависимости осадки от нагрузки показаны на рисунках 2-6. На рисунке 7 показано отношение вычисленной и экспериментальной несущей способности исследуемых винтовых свай. Несущая способность и значение крутящего момента винтовых свай по данным испытаний приведены в таблице 3.

Разработка математической зависимости несущей способности винтовых свай от среднего значения крутящего момента осуществлялась построением модели парной регрессии (или однофакторной модели), которая заключается в нахождении уравнения связи двух показателей: несущей способности винтовой сваи и момента, возникающего при закручивании данной сваи.

Таблица 1 – Нормативные и расчетные характеристики ИГЭ-2

№	Номенклатурный вид грунта	Удельный вес, кН/м ³			Угол внутреннего трения, градус			Удельное сцепление, кПа			Модуль деформации, МПа $E_{0.1-0.2 \frac{W}{W_{sat}}}$
		γ_n	γ_I	γ_{II}	φ_n	φ_I	φ_{II}	c_n	c_I	c_{II}	
2	Супесь лессовидная просадочная высокопористая твердая	16,1	15,9	16,0	25	25	25	7	6	6	8,5

Примечание: Значения характеристик грунтов приняты при природной влажности.

Таблица 2 – Несущая способность, вычисленная по методике СП 24.13330.2011

№ сваи	Наименование сваи	Несущая способность F_d , кН
1	FM24 76×(3,5)×1500	11,2
2	FM24 76×(3,5)×2000	15,6
3	FM24 76×(3,5)×2500	20,3
4	FM24 76×(3,5)×3000	25,5
5	FM24 76×(3,5)×3500	30,3

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ОЦИНКОВАННЫХ МНОГОЛОПАСТНЫХ ВИНТОВЫХ СВАЙ ПО ДЕЙСТВИЮ КРУТЯЩЕГО МОМЕНТА

Таблица 3 – Сводная таблица несущей способности и крутящего момента свай

№ сваи	Наименование сваи (номер)	Несущая способность, кН
1	FM24 76×(3,5)×1500 (1)	20,0
2	FM24 76×(3,5)×1500 (2)	22,5
3	FM24 76×(3,5)×2000 (1)	28,0
4	FM24 76×(3,5)×2000 (2)	28,0
5	FM24 76×(3,5)×2500 (1)	40,0
6	FM24 76×(3,5)×2500 (2)	35,0
7	FM24 76×(3,5)×3000 (1)	42,0
8	FM24 76×(3,5)×3000 (2)	36,0
9	FM24 76×(3,5)×3500 (1)	52,5
10	FM24 76×(3,5)×3500 (2)	52,5

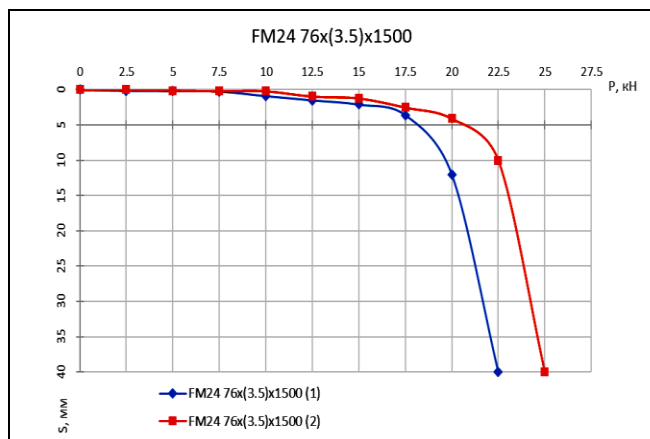


Рисунок 2 – Графики зависимости осадки от нагрузки для свай FM24 76×(3,5)×1500

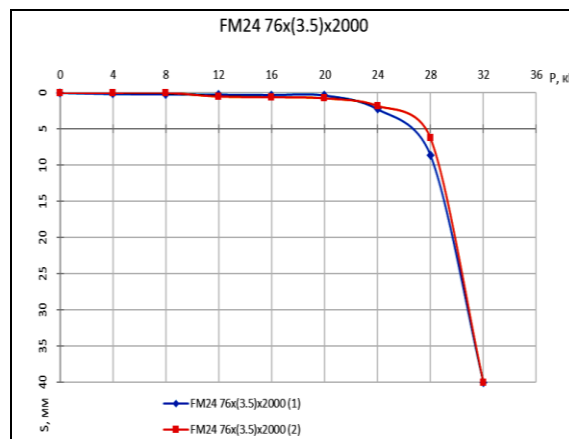


Рисунок 3 – Графики зависимости осадки от нагрузки для свай FM24 76×(3,5)×2000

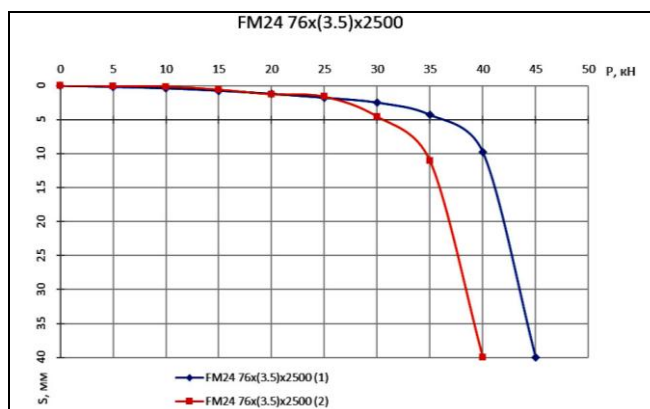


Рисунок 4 – Графики зависимости осадки от нагрузки для свай FM24 76×(3,5)×2500

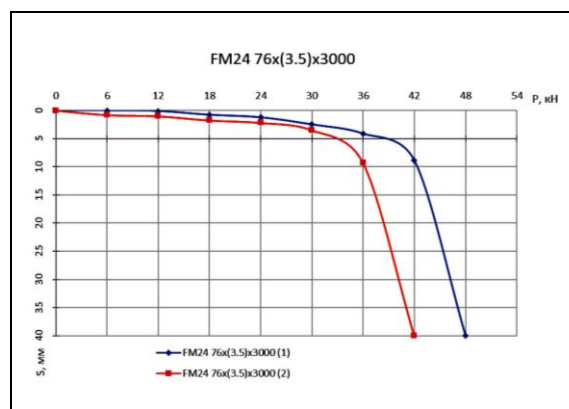


Рисунок 5 – Графики зависимости осадки от нагрузки для свай FM24 76×(3,5)×3000

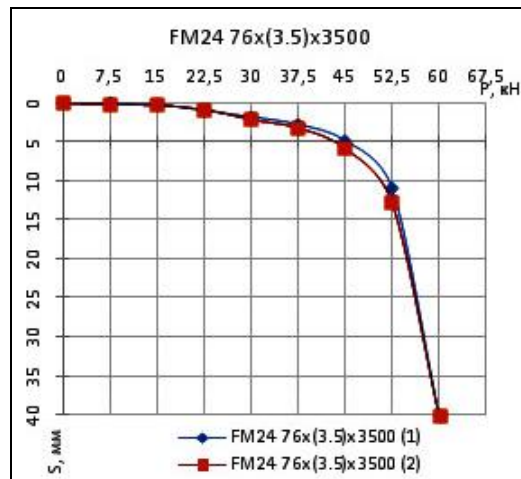


Рисунок 6 – Графики зависимости осадки от нагрузки для свай FM24 76×(3,5)×3500

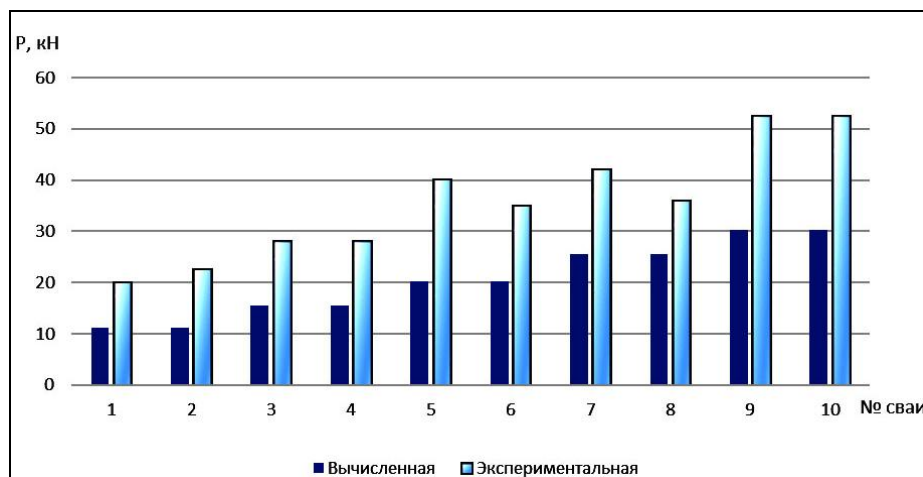


Рисунок 7 – Соотношение вычисленной и экспериментальной несущей способности винтовых свай

Рассмотрены уравнения линейной и нелинейной (степенная, показательная и гиперболическая модели) парной регрессии:

- уравнение линейной модели

$$\hat{y} = 23,322x + 1,647;$$

- уравнение степенной модели

$$\hat{y} = 24,845 \cdot x^{0,961};$$

- уравнение показательной модели

$$\hat{y} = 12,845 \cdot 1,949^x;$$

- уравнение гиперболической модели

$$\hat{y} = 66,821 - \frac{40,967}{x}.$$

На основании сравнения индекса детерминации, средней ошибки аппроксимации и F-критерия Фишера выбрана степенная модель парной регрессии

$$y = 24,845 \cdot x^{0,961}.$$

Следовательно, зависимость между крутящим моментом и несущей способностью винтовых свай в выбранных грунтовых условиях с высокой степенью достоверности может быть охарактеризована как степенная, прямая. Все рассмотренные модели парной регрессии показаны на рисунке 8.

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ОЦИНКОВАННЫХ МНОГОЛОПАСТНЫХ ВИНТОВЫХ СВАЙ ПО ДЕЙСТВИЮ КРУТЯЩЕГО МОМЕНТА

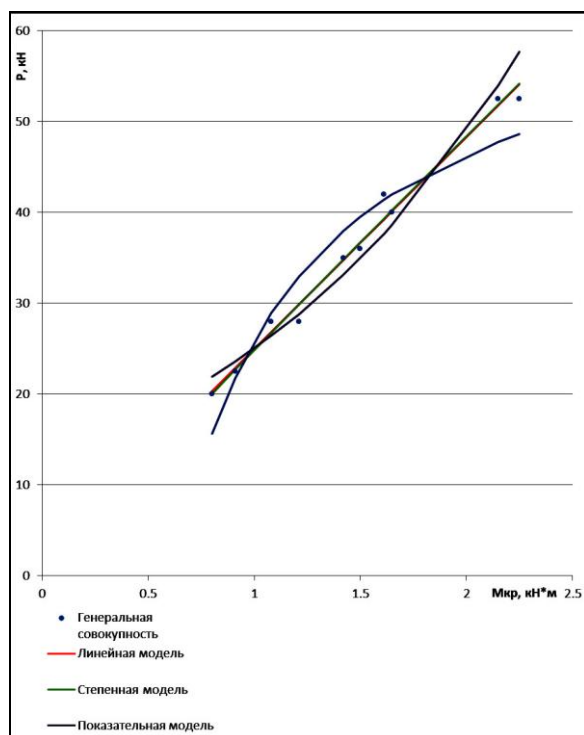


Рисунок 8 – Графики моделей парной регрессии

Выводы:

1. На основании проведенных полевых испытаниях винтовых свай исследована их работа в данных инженерно-геологических условиях, получены графики зависимости осадки от нагрузки и определено среднее значение крутящего момента, возникающего при закручивании последних 500 мм длины свай.

2. Сравнивая значения несущей способности винтовых свай, определенное аналитическим и экспериментальным путем, можно отметить достаточно высокую сходимость результатов.

3. При прочих равных условиях, с увеличением глубины заложения свай увеличивается значение несущей способности.

4. Произведена статистическая обработка полученного ряда данных, на основании которой выбрана степенная модель парной регрессии. Принятая модель достаточно точно описывает связь между крутящим моментом и несущей способностью. Индекс детер-

минации принятой модели степенной регрессии равен $R_{xy}^2 = 0,986$, следовательно, на 98.6% изменение несущей способности обусловлено изменением крутящего момента и только на 1,4% связано с влиянием прочих факторов, не исследуемых в данной модели.

5. Сравнивая полученную модель с рассмотренными выше исследованиями, можно отметить хорошую сходимость с теорией Хойта Р.М. и Клеменса С.П. Значение эмпирического коэффициента в работе авторов $K_t = 23 \text{ м}^{-1}$, в нашем случае примерно $24,845 \text{ м}^{-1}$. Сходимость полученного эмпирического коэффициента с данными отечественных исследований В.Н. Железкова достаточная. Эмпирический коэффициент в исследованиях В.Н. Железкова для глинистых грунтов находится в диапазоне в случае сжимающих нагрузок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 5686-2012. Методы полевых испытаний сваями. – М. : Стандартинформ, 2014.
2. ASTM D1143 / D1143M – 07(2013). Standard Test Methods for Deep Foundations Under Static Axial Compressive Load // Subcommittee D18.11 on Deep Foundations.
3. Шифр 88-13/ИГИ. Первая очередь строительства микрорайона №1 в г. Новоалтайске Алтайского края – ООО «ГеоПроектСтройАлтай», г. Барнаул, 2013.
4. ГОСТ 5686-2012. Методы полевых испытаний сваями. – М. : Стандартинформ, 2014.
5. СП 24.13330.2011. Свайные фундаменты. – М. : ОАО «ЦПП», 2011. – 90 с.
6. Рекомендации по проектированию винтовых свай «В.А.У.» для гражданских, промышленных и инженерных сооружений. – Новосибирск : Сибирское отделение РААСН, 2011. – 21 с.
7. СП 50-102-2003. Проектирование и устройство свайных фундаментов. – М. : Госстрой России, ГУП ЦПП, 2004.

Носков И.В – к.т.н., заведующий кафедрой «Основания, фундаменты, инженерная геология и геодезия» ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И.И. Ползунова, E-mail: noskov.56@mail.ru.

Копылов А.В. – ведущий инженер ООО «ГеоПроектСтройАлтай», E-mail: Kopylov.ant@gmail.com.