

УДК 69:624.012.45

*к.т.н. Емец Е. В.**(ЛГУ им. В. Даля, г. Луганск, ЛНР, elena.emecz@yandex.ru),**к.т.н. Каранетян С. Х.**(ЛГУ им. В. Даля, г. Луганск, ЛНР, karapetyansk@gmail.com)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ СВАЙ ОТ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ФИЗИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ГРУНТА

Работа посвящена оценке несущей способности свай различного типа от показателей физического состояния грунта.

Ключевые слова: *сваи призматические, сваи пирамидальные, сваи с уширением, несущая способность свай, показатели физического состояния грунта.*

Актуальность темы. В нынешних условиях постоянно растущие объемы строительного производства и повышение уровня урбанизации больших городов обуславливают поиск и освоение новых участков незастроенных территорий, которые в большинстве случаев находятся в неблагоприятных инженерно-геологических условиях (ИГУ). Кроме того, наблюдается тенденция к увеличению этажности строящихся домов и возведение их в местах плотной городской застройки [4].

В настоящее время известны десятки видов свай, которые различаются по форме, материалу и принципу работы [1, 3]. Каждая из них требует методики расчета ее несущей способности. Например, если к свае-стойке приложить слишком большую нагрузку, то она может не выдержать и сломаться, а если приложить ту же самую нагрузку к свае трения, то она начнет давать чрезмерную осадку, то есть ее несущая способность будет недостаточной: в первом случае — по материалу, а во втором — по грунту. Таким образом, несущая способность есть критическая предельная или разрушающая нагрузка на сваю.

Данная статья посвящена оценке несущей способности свай в различных грунтовых условиях.

Постановка задачи. Цель исследования — оценить несущую способность нескольких видов свай при изменении показателей физического состояния грунта (показателя текучести грунтового основания).

Объект исследования — сваи в различных инженерно-геологических условиях.

Предмет исследования — несущая способность свай.

Несущая способность свай всех типов определяется как наименьшее из значений, полученных по условию сопротивления грунта основания (по грунту) и по условию сопротивления материала (по материалу).

Несущую способность свай по грунту определяют по нормам проектирования свайных фундаментов аналитическим и полевыми методами. Аналитический метод является основным в проектировании фундаментов.

Из-за большого многообразия грунтовых условий действующие нормы не в состоянии предложить единую методику определения несущей способности грунтов с достаточно высокой степенью точности приближения к фактической. Поэтому при больших объемах свайных работ несущую способность свай уточняют на основании результатов полевых испытаний, к числу которых относятся зондирование грунтов, испытания свай динамической и статической нагрузками.

Особенностью свай любого типа является передача нагрузки на грунт их нижним концом и боковой поверхностью. В зависимости от характера напластования и физико-механических свойств грунтов сваи могут передавать всю воспринимаемую нагрузку на грунт преимущественно нижним концом или боковой поверхностью.

Использование свай позволяет:

1) пронизывать слабые слои грунта или слои, подверженные размыву, передать нагрузку на более прочный грунт;

2) избегать неравномерных осадок как оснований, так и сооружений;

3) уменьшить объем земляных работ;

4) обеспечить устойчивость сооружений, подверженных действию горизонтальных нагрузок;

5) при реконструкции зданий перераспределить давление от них на основание.

Сваи большой длины применяют при необходимости их погружения на значительную глубину в толщу сильносжимаемых (слабых) грунтов. Если же под ней на небольшой глубине расположены грунты средней сжимаемости, применяют забивные сваи с уширенной пятой (уширением).

Сваи с уширенной пятой применяют для фундаментов зданий и сооружений разного назначения. Уширения размещают на нижнем конце свай или на некотором удалении от острия.

Применение уширенных пят обеспечивает возможность уменьшить на 30–50 % длину свай, а за счет этого соответственно сократить расход бетона и в 2–3 раза снизить потребность в арматуре.

Появившиеся предложения о применении железобетонных пирамидальных свай взамен призматических основаны на предположении заметного увеличения их несущей способности.

Пирамидальные сваи предназначены для устройства фундаментов малоэтажных жилых, общественных и производственных зданий с несущими стенами.

Применение пирамидальных свай рекомендуется при залегании в основании следующих видов грунтов:

– песков мелких и пылеватых средней плотности;

– непучинистых пылевато-глинистых грунтов с показателем текучести 0,2–0,8;

– просадочных грунтов 1-го и 2-го типа просадочности, с просадкой от собственного веса грунта до 15 см.

Также допускается применение пирамидальных свай в среднепучинистых грунтах при нормативной глубине промерзания до 1 м и слабопучинистых грунтах при глубине промерзания до 1,5 м.

Методика исследования. В большинстве известных аналитических методов определения несущей способности свай всех видов используют теоретические или эмпирические формулы, в которых предельную нагрузку на сваю вычисляют как сумму предельного сопротивления грунта под нижним концом сваи и вдоль боковой поверхности.

Несущую способность свай забивной сваи и сваи-оболочки, погружаемой без выемки грунта, работающих на сжимающую нагрузку, определяют как сумму расчетных сопротивлений грунтов основания под нижним концом сваи и на ее боковой поверхности по формуле

$$F_d = \gamma_c (\gamma_{cR} \times R \times A + u \sum_{i=1}^n \gamma_{cf} \times f_i \times h_i), \quad (1)$$

где γ_c — коэффициент условий работы сваи в грунте; R — расчетное сопротивление грунта под нижним концом сваи, кПа; A — площадь опирания на грунт сваи, м²; u — наружный периметр поперечного сечения сваи, м; f_i — расчетное сопротивление i -го слоя грунта основания на боковой поверхности сваи, кПа; h_i — толщина i -го слоя грунта, соприкасающегося с боковой поверхностью сваи, м; γ_{cR}, γ_{cf} — коэффициенты условий работы грунта соответственно под нижним концом и на боковой поверхности сваи, учитывающие влияние способа погружения сваи на расчетные сопротивления грунта.

Несущую способность пирамидальных свай, прорезающих песчаные и пылевато-глинистые грунты, с наклоном боковых граней $i_p \leq 0,025$ определяют по формуле

$$F_d = \gamma_c (R \times A + \sum u_i \times f_i + u_{0,i} \times i_p \times E_i \times k_i \times \zeta_i), \quad (2)$$

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

где $u_{0,i}$ — сумма размеров сторон i -го поперечного сечения сваи, которые имеют наклон к оси сваи, м; i_p — наклон боковых граней сваи в долях единицы; E_i — модуль деформации i -го слоя грунта, окружающего боковую поверхность сваи, кПа; k_i — коэффициент, зависящий от вида грунта; $\zeta_i = 0,8$ — реологический коэффициент.

Несущую способность набивных и буровых свай с уширением, погружаемых с выемкой грунта и заполняемых бетоном, работающих на сжимающую нагрузку, определяют по формуле (1).

Несущую способность сваи с двумя или несколькими уширениями по грунту определяют по формуле

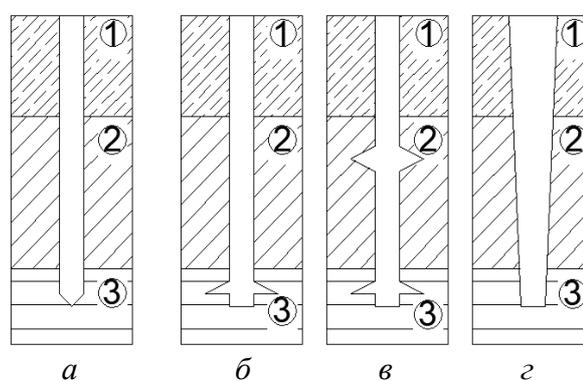
$$F_d = k \times m(R^n \times F + Y \sum f_i^n \times l_i), \quad (3)$$

где k — коэффициент однородности грунта; m — коэффициент условной работы; R^n — нормативное сопротивление грунта под нижним концом сваи, кПа; F — площадь поперечного сечения сваи, принимаемая по наибольшему диаметру уширения, м²; Y — нормативное сопротивление i -го слоя грунта по цилиндрической

поверхности периметра, кПа; l_i — толщина i -го слоя грунта, соприкасающегося с цилиндрической поверхностью вокруг сваи по диаметру уширений, в пределах от верхнего до нижнего уширения, м.

Результаты исследования. В статье приведены результаты исследования несущей способности типов свай, представленных на рисунке 1.

Инженерно-геологические условия, принятые при оценке несущей способности свай, приведены в таблице 1.



а — призматическая свая; б — свая с уширенной пятой; в — свая с несколькими уширениями ствола; з — пирамидальная свая

Рисунок 1 Типы исследуемых свай

Таблица 1

Варианты ИГУ

Наименование грунта	Мощность слоя, м	Удельный вес грунта, γ , кН/м ³	Число пластичности, I_L	Степень влажности, S_r	Удельное сцепление, c , кПа	Угол внутреннего трения, φ , град	Модуль деформации, E , МПа
Вариант ИГУ № 1							
Супесь	4	16	0,6	0,71	9	18	7
Глина	6	19	0,2	0,29	57	18	21
Вариант ИГУ № 2							
Супесь	4	16	0,6	0,71	9	18	7
Суглинок	6	18,5	0,5	0,58	14	14	6
Глина	3	19	0,2	0,29	57	18	21
Вариант ИГУ № 3							
Песок мелкий, рыхлый	2	16,5	—	0,7	2	32	28
Песок пылеватый средней плотности	6	19,3	—	0,4	4	30	18
Глина	3	19,5	0,4	0,2	57	18	21

Для определения степени влияния показателя текучести несущего и выше залегающих слоев грунта на несущую способность свай различного типа построены графики зависимости, которые приведены на рисунках 2, 3.

Результаты анализа показали, что чем больше показатель текучести глинистых грунтов, тем меньше несущая способность фундаментов (рис. 2, 3). Например, что при показателе текучести $I_L=0,3$ несущая способность призматической сваи и сваи с уширением составляет $F_d=1000\div1470$ кН. В случае $I_L=0,5$ их несущая способность

составляет $F_d=500\div683$ кН, то есть уменьшается почти в 2 раза.

Для глинистых грунтов, залегающих в основании сваи либо в качестве промежуточного слоя, в диапазоне изменения показателя текучести несущего слоя грунта $I_L=0,3\div0,6$ значения несущей способности свай изменяются в пределах $F_d=2500\div500$ кН, то есть отличаются в 2,5 раза.

Поэтому при разработке наиболее оптимального варианта свайного фундамента в диапазоне изменения показателя текучести $I_L=0,3\div0,6$ рекомендуется также обращать внимание на характер залегания слоев грунта.

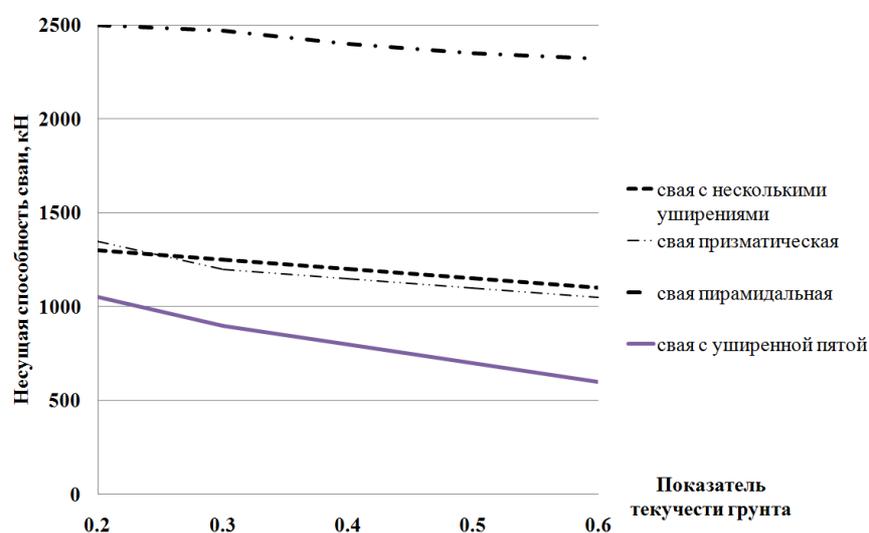


Рисунок 2 Изменение несущей способности свай при изменении показателя текучести первого слоя грунта

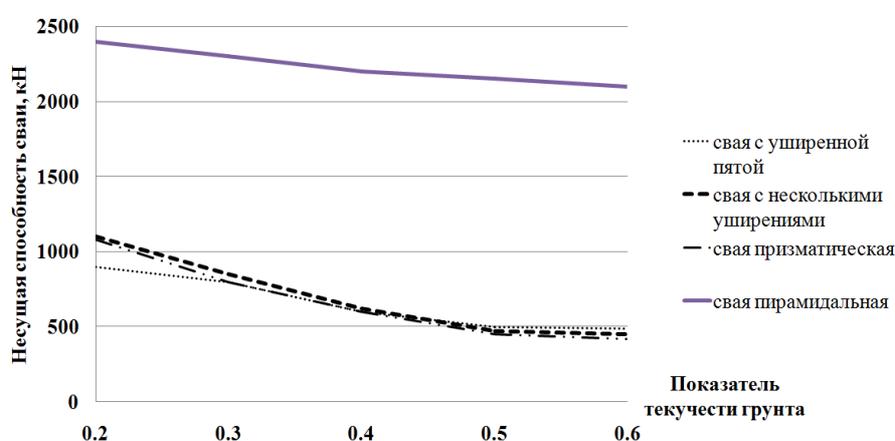


Рисунок 3 Изменение несущей способности свай при изменении показателя текучести несущего слоя грунта

Выводы:

1. При всех вариантах принятых инженерно-геологических условий пирамидальные сваи обладали наибольшей несущей способностью.

2. Наличие песчаных грунтов в грунтовом массиве в качестве несущего слоя грунта повышает несущую способность свай в 1,5 раза и составляет 3600 кН.

3. Изменение показателя текучести и гранулометрического состава первого слоя грунта для всех вариантов предложенных грунтовых условий минимально влияет на изменение несущей способности.

4. Несущая способность забивной сваи при изменении показателя текучести несущего слоя грунта снижается по сравнению с другими типами свай в 2,5 раза.

5. Для ИГУ, сложенных двумя слоями (текучим сверху и прочным в основании), наиболее приемлем тип свай пирамидальных и с уширением на конце.

Дальнейшие исследования будут направлены на изучение зависимости несущей способности свай от гранулометрического состава всех слоев грунта, коэффициента пористости и модуля деформации несущего слоя грунта.

Библиографический список

1. СП 24.13330.2011 Свайные фундаменты. Актуализированная редакция СНиП 2.02.03-85 [Текст]. — Введ. 2011-05-20. — М. : АО НИЦ «Строительство», 2011. — 162 с.
2. Буслов, А. С. Несущая способность горизонтально нагруженной одиночной свайной опоры с лежащими [Текст] / А. С. Буслов, Е. С. Моховиков // Вестник МГСУ. — 2015. — № 9 — С. 51–58.
3. Корниенко, М. В. Расчет несущей способности вдавливаемых свай с одним и двумя уширениями [Текст] / М. В. Корниенко, О. Б. Пресняков, О. И. Балакиин. — М. : ГНИИСК, 2012. — С. 146–153.
4. Хрянина, О. В. Факторы, влияющие на несущую способность свай в пробитых скважинах // Современные научные исследования и инновации. — 2015. — № 6. — Ч. 1. — [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://web.snauka.ru/issues>.
5. Пономарев, А. Б. Сравнение методов определения несущей способности забивных свай по результатам статического зондирования в слабых глинистых грунтах [Текст] / А. Б. Пономарев, М. А. Безгодков, П. А. Безгодков // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. — ПНИПУ, 2015. — №5. — С. 24–39.
6. Шакиров, И. Ф. Исследование несущей способности буронабивной сваи в массиве грунта, укрепленного напорной инъекцией цементного раствора [Текст] / И. Ф. Шакиров // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. — 2017. — № 4. — С. 139–145.

© Емец Е. В.

© Карапетян С. Х.

Рекомендована к печати к.т.н., доц., зав. каф. ИГ ДонГТИ Бондарчуком В. В., к.т.н., доц., зав. каф. СА факультета экономики и бизнеса ЛГУ им. В. Даля Псюком В. В.

Статья поступила в редакцию 01.02.2021.

PhD in Engineering Emets E. V. (LSU named after V. Dahl, Lugansk, LPR, elena.emecz@yandex.ru),
PhD in Engineering Karapetian S. Kh. (LSU named after V. Dahl, Lugansk, LPR, karapetyanskh@gmail.com)

STUDYING OF THE DEPENDENCE OF PILE CAPACITY ON INDICATORS OF SOIL PHYSICAL CONDITION

The work focuses on assessing the capacity of various types of piles on indicators of soil physical condition.

Key words: *prismatic piles, pyramidal piles, widened piles, capacity of piles, indicators of soil physical condition.*