

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Реконструкция зданий и сооружений / А.Л. Шагин, Ю.В. Бондаренко, Д.Ф. Гончаренко, В.Б. Гончаров; под ред. А.Л. Шагина: учебное пособие для строит. спец. вузов. – М.: Высшая школа, 1991. – 352 с.
2. Проектирование реконструкции зданий и сооружений: учеб.- метод. комплекс: в 3 ч. / Д.Н. Лазовский. – Новополюк: ПГУ, 2010. – Ч. 2: Оценка состояния и усиление строительных конструкций – 340 с.
3. Далматов, Б.И. Механика грунтов, основания и фундаменты. – 2-е изд., переработанное и дополненное. – Л.: Стройиздат, Ленингр. отделение, 1988. – 415 с.
4. Келемешев, А. Д. Обследование и усиление зданий: учебное пособие для студентов специальности «Строительство»/ А.Д. Келемешев. – Алматы: КазГАСА, 2011. – 98 с.
5. Симагин, В.Г. Основания и фундаменты. Проектирование и устройство. – 2-е издание. – М.: Злательство АСВ Петрозаводск-Москва. – 2008. – 492 с.
6. Шагина, А.Л. Реконструкция зданий и сооружений / А.Л. Шагин, Ю.В. Бондаренко, Д.Ф. Гончаренко, В.Б. Гончаров; под ред. А.Л. Шагина: учебное пособие для строит. спец. вузов. – Минск: Высшая школа, 1991. – 352 с.

УДК 624.15 + 692.115 : 69.035

Шведовский П.В., Пойта П.С., Дронович А.Ю.

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ЗОН УПЛОТНЕНИЯ В ОКОЛОСВАЙНОМ ГРУНТОВОМ МАССИВЕ И ВЗАИМОСВЯЗЕЙ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ, ОСТАТОЧНОГО И УПРУГОГО ОТКАЗОВ ПРИ ЗАБИВКЕ СВАЙ

Свайные фундаменты являются наиболее надежными в фундаментостроении, при этом, чем сложнее инженерно-геологические условия, тем предпочтительнее их применение. В настоящее время накоплен огромный объем научных данных о взаимодействии с грунтом свай различных конструкций и разработано множество методов определения несущей способности свай и осадок свайных фундаментов. Однако практически для всех объектов характерно недопогружение свай до проектной отметки и необходимость их срубки. Этому вопросу исследователями в последние 10-15 лет уделяется большое внимание, но до сих пор он не нашел более или менее удовлетворительного решения.

Но недопогружение свай лишь видимая часть "айсберга". При выборе глубины погружения свай проектировщик действует в условиях почти полной неопределенности. Произвести исследования грунта для каждой сваи невозможно, но по существующим правилам он обязан указать в проекте точную глубину погружения каждой сваи без исключения. В столь неопределенной ситуации проектировщик всегда вынужден увеличивать глубину заложения нижних концов свай про запас, так как он и только он несет полную и единоличную ответственность за надежность фундамента. Это и порождает, как показывает практика, проектирование свайных фундаментов с завышенной несущей способностью, и соответственно, максимальной энерго- и материалоемкостью. По оценке Б.И. Далматова [1], каждая третья свая в фундаментах является лишней. Системный характер этого негативного явления свидетельствует об актуальности рассматриваемой проблемы.

Как известно, в процессе погружения сваи забивкой вокруг нее в грунтовом массиве формируются зоны уплотнения, которые, в зависимости от направления и величины перемещения частиц, можно разделить на четыре группы. Первая зона диаметром 2-25 мм («грунтовая рубашка»), образуется непосредствен-

но на контакте с боковой поверхностью сваи. Грунт в этой зоне сильно деформируется и уплотняется, приближаясь к плотности бетона, и становится единым целым со сваем, из-за чего сдвиг сваи относительно грунта происходит по границе первой и второй зон, а не по самой свае. Во второй зоне диаметром до $3d$ (d – диаметр или сторона сечения сваи) частицы грунта, отжимаемые острием сваи (или при плоском торце – конусом из уплотненного грунта), смещаются в сторону и вверх. Эта зона характеризуется большими сдвигами частиц грунта с нарушенным состоянием. Непосредственно около головы сваи наблюдается понижение грунта в виде воронок, а затем максимальный подъем поверхности земли. В пределах второй зоны грунт постепенно переходит к своей природной структуре. В третьей зоне диаметром ($3-6$) d , грунт уплотняется в результате смещения частиц в радиальном направлении. В этой зоне структура грунта в основном сохраняется, но в некоторых случаях отмечается небольшое снижение плотности, происходящее в основном в водонасыщенных грунтах [2]. В четвертой зоне диаметром до $12d$ грунт претерпевает фактически только упругие деформации, и изменение его свойств незначительно. На увеличение несущей способности сваи в основном влияет степень уплотнения грунта во 2-й и 3-й зонах вокруг ранее забитых свай.

Безусловно, необходимо отметить, что размеры зон уплотнений зависят от свойств грунта, в который погружается свая. Так, в твердых и полутвердых глинистых грунтах общая ширина зон влияния сваи может быть описана радиусом ($10-12$) d , а в более водонасыщенных и менее прочных, – всего лишь ($2-3$) d . Это объясняется тем, что в слабых грунтах не происходит значительного уплотнения, раздвигаемого телом сваи грунта в радиальном направлении, а практически сразу происходит его выпор на поверхность. Чем больше пористость грунта, тем меньше зоны уплотнения вокруг сваи как для песчаных, так и для глинистых грунтов [3]. В рыхлых водонасыщенных песках зоны уплотнения превышают аналогичные зоны в сухих и маловлажных песках почти в два раза из-за разжижения грунта при динамическом воздействии, вызываемым погружением сваи забивкой.

Следует отметить, что на размеры зон уплотнения влияет и форма сечения сваи. Эксперименты, проведенные [2] в песках со сваями разной формы, показали, что уплотнение грунта вокруг сваи разного поперечного сечения неодинаково, и, как правило, у круглых свай оно больше.

В основании сваи формируется грунтовое ядро, в виде клина, которое движется вниз под острием сваи, уплотняя и раздвигая грунт в стороны. При этом, близко расположенные к свае слои грунта вытягиваются вниз в виде тонкой пленки, участвуя в формировании «грунтовой рубашки». Глубина ядра колеблется в пределах ($0,5-1$) d . Плотность «грунтовой рубашки» и ядра равен $2,2 \text{ г/см}^3$, что близко к плотности бетона. В случае имеющегося заострения сваи, грунтовое ядро дополняет острие, вследствие практического равенства объемных весов ядра и материала сваи, до формы клина. Однако острие сваи, как и форма его заострения, на несущую способность сваи существенного влияния не оказывают.

Анализ исследований [1, 3, 4] напряженно-деформированного состояния системы «свая-грунт» позволяет отметить следующее:

- в состоянии предельного равновесия свая стремится сдвинуться вниз, вместе с ней смещается небольшой слой грунта по боковой поверхности. В это время, в напряженной зоне под острием сваи происходят в основном упругие деформации грунта;

– при увеличении предельной нагрузки вдоль нижней границы поверхности предельного равновесия возникают пластические деформации, сопровождающиеся уплотнением грунта. Затем пластические деформации развиваются в пределах всей напряженной зоны у нижнего конца сваи, ограниченной поверхностью предельного равновесия;

– свая, находящаяся под нагрузкой, оказывает давление на окружающий ее массив грунта, в каждой точке которого возникают равные по величине, но противоположные по знаку реактивные напряжения: нормальные – в уровне низа сваи, нормальные (обжимающие) и касательные – на ее боковой поверхности;

– касательные напряжения, возникающие вследствие действия сил трения между грунтовой оболочкой, образовавшейся на свае и окружающим грунтом, вызывают в нем изменение напряженного состояния;

– под концом сваи грунт также подвергается деформации. Образующиеся области сдвигов взаимодействуют с окружающим грунтом. Перемещение этих областей начинается после преодоления влияния пригрузки от веса вышележащего грунта и происходит в результате его уплотнения, а также уплотнения боковых массивов грунта;

– при отсутствии выпора грунта вверх, пластическая область ниже торца сваи локализована внутри основания;

– на уплотнение грунта вокруг сваи большое влияние оказывают возникающие при ее забивке радиальные напряжения.

По опытам, проведенным в песках средней плотности [1, 2], были построены графики (рис. 1) распределения радиальных нормальных напряжений в массиве грунта вокруг сваи после ее погружения в трех точках, которые располагались на 7 см ниже острия сваи (кривая 2), на 10 см выше острия (кривая 3), на 53 см выше острия (кривая 4) и в уровне острия (кривая 1).

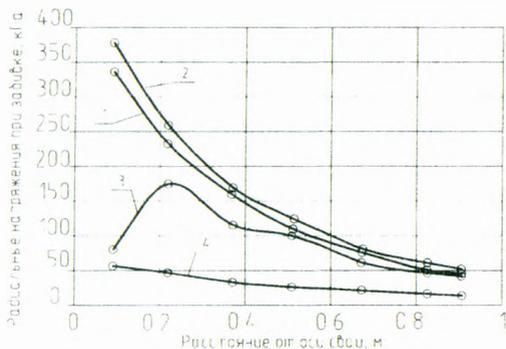


Рисунок 1 – Распределение радиальных нормальных напряжений вокруг сваи

Из графиков видно, что в небольшой зоне (1,5–2)d возникают значительные радиальные напряжения, гораздо большие, чем в уровнях, удаленных на 10 см от острия сваи в ту или иную сторону. Однако после прохождения каждого уровня напряжения в нем резко падали (кривая 3) и в дальнейшем составляли незначительную часть от ранее действовавших (кривая 4). Со временем напряжения в песках изменяются незначительно (на $\approx 5\text{--}10\%$), при этом тангенциальные напряжения σ_{τ} уменьшаются почти в 3 раза.

Необходимо отметить, что такая картина распределения напряжений в околосвайном массиве вызвана тем, что при погружении свай грунт перемещается в стороны под действием больших по величине, но кратковременных усилий. Изменение плотности грунта за весьма короткий промежуток времени и обусловливает значительное уменьшение пористости: в песках пылеватых с 0,67 до 0,5, а в песках мелких с 0,59 до 0,41.

Формирование околосвайного массива в глинистых грунтах принципиально отличается от песчаных. По данным исследований [3, 4, 5], интенсивное возрастание несущей способности происходит в первые дни после забивки, а в дальнейшем рост замедляется и носит вялотекущий характер. Например прирост несущей способности железобетонных свай сечением 30x30 см и длиной от 9 до 15 метров, погруженных в многослойные глинистые грунты, в течение первых двух суток может составлять до 150%, а за последующие 4-5 суток – 180 % от сопротивления сваи, определенного сразу после забивки.

В водонасыщенных глинистых грунтах, за счет небольшого значения коэффициента фильтрации, вода, заключенная в порах, не успевает отфильтровать, что приводит к объемному сжатию грунта и защемленных в нем пузырьков воздуха и, следовательно, к повышению давления поровой жидкости, особенно в межсвайном пространстве. После забивки свай, с течением времени, наблюдается релаксация полных напряжений, поровое давление рассеивается до гидростатического, а давление в скелете грунта возрастает до стабилизированного значения. При падении порового давления до нуля грунт приходит в статическое состояние, силы трения по боковой поверхности возрастают до максимальных значений, происходит тиксотропное упрочнение грунта в результате образования новых структурных связей, однако образования зон уплотнения вокруг свай практически не происходит.

Исследования [3,5] так же подтверждают, что между сопротивлением острия и боковой поверхности сваи наблюдается тесная связь, т.е. работа острия оказывает существенное влияние на работу боковой поверхности сваи, т.к. силы трения включаются в работу при смещении сваи на несколько миллиметров.

Величина же бокового трения сваи зависит от физико-механических свойств грунтов и перемещения сваи относительно грунта, при этом трение по боковой поверхности полностью мобилизуется при осадке сваи относительно грунта, равной 2,5-25 мм, независимо от глубины положения сечения. При этом максимальное значение бокового трения возрастает с увеличением глубины расположения рассматриваемого сечения сваи. После достижения силами трения своего максимального значения, что для разных грунтов представляет собой разные величины, нагрузку продолжает нести только острие сваи до полного исчерпания несущей способности сваи, после чего наступает срыв сваи.

Применяемый в практике для расчёта несущей способности одиночной сваи метод предельного равновесия предполагает, что грунт по боковой поверхности и под нижним концом сваи подчиняется законам теории предельного равновесия, а несущая способность определяется сопротивлением грунта по боковой поверхности и под острием сваи [1, 3].

Основная сложность заключается в достоверности определения значений удельного сопротивления грунта под острием и по боковой поверхности, а также в полноте учета особенностей изменения грунтов под нагрузкой, например, влияния релаксационных процессов для глинистых грунтов или степени уплотнения для песчаных.

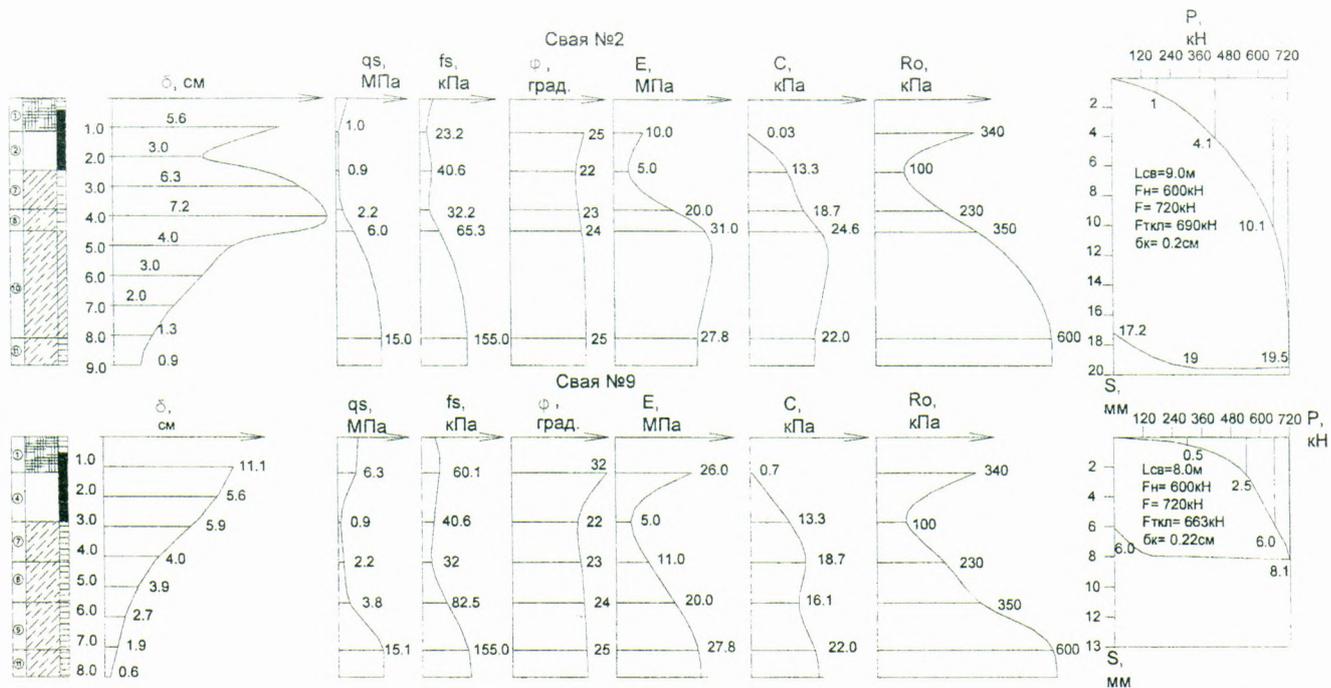


Рисунок 2 - Графики связи отказов (δ) и несущей способности свай (F) с деформационно-прочностными свойствами ($q_s, f_s, \phi, E, c, R_0$) грунтов оснований

Что касается песчаных грунтов, то сопротивление боковой поверхности и острия сваи возрастает по линейному закону до глубины (10–20)d, а затем остается постоянным и является функцией начальной плотности песка.

Полученные нами [6] и другими исследователями [1,2, 3] данные показывают, что практически для одних и тех же грунтовых условий соотношения сопротивлений по боковой поверхности и под остриём сваи, а также величины отказов могут быть в значительных пределах.

Всё это определяет необходимость поиска взаимосвязей и взаимозависимостей несущей способности (сопротивления грунта) и остаточных и упругих отказов сваи.

На рис. 2 приведены экспериментальные данные для двух свай забитых на одной стройплощадке с различием грунтовых условий только верхней части массива, т.е. для свай № 2 схема грунтового массива «слабые – прочные», а для сваи № 9 – «прочные – прочные». Сваи забиты примерно на одну глубину – 9 и 8 м. Динамика отказа для сваи №2 характеризуется параболической, а сваи № 9 – линейной зависимостями.

Осадка же свай (S) при достижении примерно одной и той же несущей способности (Fткл) различается более чем в два раза.

На глубине 8,0 м отгак сваи № 2 составил 1,3 см, а сваи № 9 – 0,6 см, т.е. различие более чем в два раза.

Анализ совокупностей экспериментальных данных более чем для двадцати свай позволяет сделать вывод, что существует взаимозависимость несущей способности сваи (сопротивления грунта) как от остаточного, так и упругого отказов, однако их взаимосвязь определяет необходимость полного и достоверного учёта влияния деформационно-прочностных свойств грунтов основания как в естественном состоянии, так и в процессе забивки свай.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Долматов, Б.И. Проектирование свайных фундаментов в условиях слабых грунтов / Б.И. Долматов, Ф.К. Лапшин, Ю.В. Россихин. – Л.: Стройиздат, 1975. – 168 с.
2. Сирожиждинов, З. Несущая способность свайных фундаментов при центральных нагрузках/З. Сирожиждинов – Ташкент, Узбекистан, 1981. – 152 с.
3. Грязнова, Е.М. Разработка метода расчёта свайных фундаментов с учётом прочностных свойств грунтов и взаимодействия свай / Е.М. Грязнова. – Л.: Стройиздат, 1989. – 196 с.
4. Ковалёв, Ю.И. Распределение напряжений в пластической области грунтового массива при осесимметричном нагружении: сборник трудов МИИТ / Ю.И. Ковалёв – М., 1984 – Вып. 745. – С. 35-42.
5. Одинг, Б.С. Исследование взаимодействия свай с грунтом при вертикальной статической нагрузке / Б.С. Одинг // Сб. труд. Воронежского ИСИ. –1968. – № 10. – Вып. 1. – С. 56-64.
6. Пойта, П.С. Оценка методов несущей способности забивных свай / П.С. Пойта, А.Ю. Дронович, П.В. Шведовский // Вестник БрГТУ = 2012. – №01 (73). – С. 77-81.

УДК 69.05(075.8)

Шумаков И.В., Фурсов Ю.В., Гонитарь А.А.

ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ВОЗВЕДЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ЧАСТЕЙ ЗДАНИЙ

Рост объемов подземного строительства в крупных городах, развивающихся как культурно-исторические и торгово-промышленные центры, наблюдается сегодня во всем мире. Это связано с непрерывно возрастающей концентрацией городского населения и повышением численности автомобильного парка, кото-