

DOI: 10.12737/article_59cd0c59b6ab72.57437515

¹Рыбникова И.А., ст. препод.,²Рыбников А. М., канд. техн. наук, доц., ст. научн. сотр.¹Белгородский государственный технологический университета имени В. Г. Шухова
(Новороссийский филиал)²Государственный морской университет им. адм. Ф. Ф. Ушакова (г. Новороссийск)

ИЗ ОПЫТА УСТРОЙСТВА ФУНДАМЕНТОВ В СЛАБЫХ ГРУНТАХ

a.ribnikov@novoroskhp.ru

Дано определение слабых грунтов как оснований сооружений. Рассмотрены конструкции забивных пирамидальных, булавовидных, конических набивных свай в выштампованных скважинах, а также фундаментов в вытрамбованных котлованах. Приведены результаты полевых натурных испытаний статической вдавливающей нагрузкой в слабых грунтах, по результатам которых определена их несущая способность и выполнены проекты фундаментов указанных конструкций. Отработана технология устройства свай и фундаментов с использованием специального оборудования. Освещён положительный опыт применения фундаментов в слабых грунтах под здания и сооружения различного назначения в разных регионах. Наблюдения за осадками возведенных зданий и сооружений на рассматриваемых конструкциях фундаментов показал их надёжность.

Ключевые слова: слабые грунты, пирамидальные сваи, вытрамбованный котлован, выштампованная скважина, коническая свая, булавовидная свая, несущая способность.

Введение. К слабым грунтам принято относить связные грунты (чаще водонасыщенные), имеющие прочность на сдвиг в природном залегании менее 0,075 МПа или модуль деформации $E \leq 0,05$ МПа [1]. При приложении нагрузок на основание такие грунты теряют свою прочность и сильно сжимаются. Поэтому на них возводить здания и сооружения не рекомендуется. Основания требуется укрепить, заменить прочными грунтами или прорезать сваями. Имеется положительный опыт устройства фундаментов в рассматриваемых грунтах. К рациональным конструкциям в этих условиях можно отнести: фундаменты в вытрамбованных котлованах; пирамидальные забивные сваи; конические набивные сваи в пробитых скважинах; булавовидные сваи, прорезающие слабые грунты и опирающиеся на нижележащие более прочные грунты.

Методология. Для реального применения новых прогрессивных конструкций фундаментов, в том числе на слабых грунтах, требуется изучение их работы на моделях и в реальных условиях. Если фундамент составной конструкции (например, свайный), то исследуется работа его основного элемента – одиночной сваи, реже – работа свай в группе (кусте). Достоверными являются результаты испытаний натурных конструкций свай и фундаментов в естественных природных условиях. В данной работе описан опыт строительства объектов на пирамидальных и булавовидных сваях, на конических сваях в пробитых скважинах, а также фундаментов в вытрамбованных котлованах. Для внедрения в практику строительства указанных конструкций проводились полевые натурные испытания на

действие на них вертикальной вдавливающей нагрузки по ГОСТ 5686-2012 [2]. Разрабатывались проекты фундаментов перечисленных конструкций, отработывались технология их устройства, и по завершении строительства осуществлялись длительные наблюдения за осадками построенных объектов.

Основная часть. Особенностью просадочных грунтов, имеющих пористую структуру, является уменьшение их в объёме вследствие замачивания их водой при постоянной внешней нагрузке и/или нагрузке от собственного веса. То есть, при замачивании ячеистая структура пор разрушается, и грунты переходят в категорию слабых ненадёжных грунтов. Одним из эффективных способов использования фундаментов в просадочных грунтах являются фундаменты из пирамидальных свай, при погружении которых происходит уплотнение окружающего их грунта.

Пирамидальные сваи (трёхгранные или четырёхгранные), имея форму объёмного клина, при погружении в распор уплотняют основание по боковой поверхности, и в пределах деформируемой зоны в значительной мере ликвидируют просадочные свойства (пористость) грунта. Они эффективны с точки зрения работы при действии горизонтальной нагрузки в силу развитого поперечного сечения верхней части сваи (головы). К назначению их несущей способности надёжнее всего подходить на основе данных полевых испытаний при полном замачивании основания из просадочных грунтов.

С целью определения специфики поведения четырёхгранных пирамидальных свай в проса-

дочных грунтах были проведены их натурные испытания в грунтах естественной влажности и в условиях полного замачивания основания [3]. Испытания проводились на двух экспериментальных площадках строительства – тепличного комбината и жилого многоэтажного дома в г. Курске, для фундаментов с двумя типоразмерами свай. Грунты первой площадки (тепличный комбинат) представлены лёссовидными суглинками I типа по просадочности до глубины 5 м. Они подстилаются напластованиями из непросадочных суглинков, мелких и пылеватых песков. Вторая площадка (жилой дом) сложена сверху-вниз лёссовидными просадочными суглинками мощностью 6 м, двухметровой прослойкой непросадочного суглинка и слоем мелкого песка до разведанной глубины 10,5 м.

Испытания проводились в два этапа. На первом этапе испытывались сваи в грунтах естественной влажности. На втором этапе после проведения испытаний свай на площадках в грунтах естественной влажности просадочные грунты замачивались на всю толщу через дренарующие скважины до степени влажности $G > 0,8$.

На первой площадке проводились испытания статической вдавливающей нагрузкой четырёх свай марки СП 3,5-40/10 длиной 3,5 м, сечением головы 0,4×0,4 м, острия 0,1×0,1 м и углом конусности (угол сбега граней) $\alpha^0 = 2,5^0$. На второй площадке испытывались три сваи марки СП 6-60/20 длиной 6 м сечением головы 0,6×0,6 м, острия 0,2×0,2 м и углом конусности (угол сбега граней) $\alpha^0 = 2^0$. Таким образом, на первой площадке сваи полностью располагались в просадочном грунте, а на второй – опирались концами на непросадочную толщу.

Испытания в пределах каждой площадки производились до и после замачивания по методике ГОСТ 5686-2012 [2]. Несущая способность свай в грунте естественной влажности $F_{ест}$ и в замоченном грунте $F_{зам}$ назначалась по графику зависимости «нагрузка – осадка» согласно СП 24.13330.2011 [4] при осадке свай на 20 мм как для производственных и гражданских зданий с полным железобетонным каркасом в соответствии с СП 22.13330.2011 [5]. Результаты испытаний, а также несущая способность свай, определённая расчётным путём $F_{расч}$ по нормативу [5], сведены в таблицу 1.

Таблица 1

Результаты испытаний четырёхгранных пирамидальных свай

Марка пирамидальной сваи	Объём свай V , $м^3$	Несущая способность свай, $кН$			$F_{ест} / V$, $F_{зам} / V$, $кН/м^3$	$F_{ест} / F_{расч}$	$F_{зам} / F_{ест}$
		$F_{расч}$	$F_{ест}$	$F_{зам}$			
Площадка № 1							
СП 3,5-40/10-1	0,245	213	195	-	796	0,92	-
СП 3,5-40/10-2	0,245	213	-	159	649	-	0,82
СП 3,5-40/10-3	0,245	213	170	-	694	0,80	-
СП 3,5-40/10-4	0,245	213	-	146	596	-	0,86
Площадка № 2							
СП 6-60/20-1	1,040	824	-	422	406	-	0,66
СП 6-60/20-2	1,040	824	-	511	491	-	0,80
СП 6-60/20-3	1,040	824	636	-	612	0,77	-

Испытания позволили установить, что сопротивление пирамидальных свай вдавливающим нагрузкам в лёссовых грунтах I типа по просадочности естественной влажности снижается при замачивании грунтов на 14–34 %. Причём большее снижение наблюдается у свай с меньшим углом конусности. В то же время более высокой удельной несущей способностью (на $1 м^3$ материала) обладают сваи с большим углом α^0 . Расхождение расчётной несущей способности сваи $F_{расч}$ с фактической несущей способностью в грунтах естественной влажности $F_{ест}$ находится в пределах 8–23 % в сторону увеличения.

Анализ приведенных данных показывает, что пирамидальные сваи могут быть применены в качестве свайных фундаментов под малоэтажные

жилые дома, сельскохозяйственные и малонагруженные промышленные объекты, возводимые на грунтах I типа по просадочности. Результаты испытаний послужили основой для разработки проекта свайных фундаментов тепличного комбината в г. Курске. Применение здесь пирамидальных свай (рис.1) позволило практически исключить земляные работы для устройства котлована, снизить трудовые затраты на 322 чел.-дня и стоимость работ нулевого цикла на 26 %. Длительные наблюдения за деформациями фундаментов этого объекта с влажным режимом эксплуатации (полив овощей) показали, что они значительно меньше предельно допустимых.



Рис. 1. Забивка пирамидальных свай на тепличном комбинате в г. Курске

Как показала практика строительства, в слабых грунтах при действии вдавливающей нагрузки эффективны конструкции *фундаментов в вытрамбованных котлованах*. Котлован под каждый отдельный фундамент образуется методом вытрамбовывания на необходимую глубину тяжёлыми трамбовками, имеющими сужение к низу. Затем котлован армируется (при необходимости) и бетонируется. Под основанием фундамента и по его боковой поверхности образуется зона уплотнённого грунта, что повышает несущую способность основания. В результате снижается расход монолитного бетона и опалубочных работ, сокращается объём земляных работ, исключается выполнение ручных работ. Надземные части сооружений можно опирать непосредственно на такие фундаменты, или можно также выполнять в них стаканы под железобетонные колонны.

Отработка технологии вытрамбовывания котлована осуществлялась с использованием трамбовки шестигранной формы (диаметром описанной окружности в верхней части 1,4 м, нижней – 0,8 м) высотой 2,5 м с заострением (рис.2). Для утяжеления трамбовки весом до 7 т её заполнили бетоном. Площадки со слабыми грунтами были выбраны в городах Оренбурге и Липецке. Трамбовка сбрасывалась с высоты 7...10 м по направляющей штанге на каретке, которой был оборудован экскаватор. Время падения трамбовки – 2-3 сек. Для достижения полного заглубления такой трамбовки в грунт требовалось от 20 до 40 ударов – в зависимости от характеристик грунта. При появлении заклинивания в забой добавлялась вода в объёме 15–20 литров. Стенки котлованов получались хорошего качества, ровные, с гладкими уплотнёнными поверхностями, повторяющими форму трамбовки (рис. 3).

С целью повышения несущей способности фундаментов в дно котлована также может втрамбовываться гравий фракции 20...40 мм, порциями по 0,10... 0,25 м³ до необходимого отказа погружения трамбовки. Рекомендованные

нагрузки на такие фундаменты, как показали результаты испытаний в слабых грунтах, составляют до 600...900 кН. На фундаментах в вытрамбованных котлованах построены эстакады технологического трубопровода и теплосетей, складские помещения, подсобные и одноэтажные производственные корпуса.

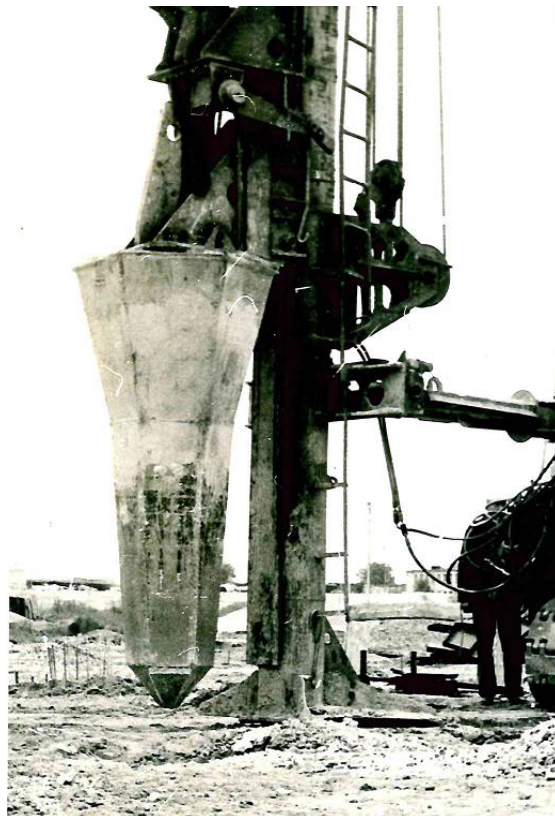


Рис. 2. Шестигранная трамбовка для вытрамбовывания котлованов под фундамент

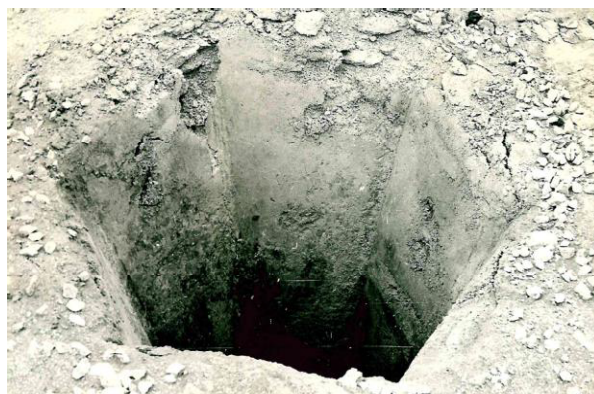


Рис. 3. Вытрамбованный котлован конической трамбовкой под фундамент

Также одним из способов совершенствования фундаментов в слабых грунтах является применение свай, устраиваемых *в пробитых (выштампованных) скважинах* конической формы. Экспериментальные исследования таких свай осуществлялись на площадке строительства завода химического волокна в г. Кустанае [6].

Грунты экспериментального полигона представлены глинами полутвёрдой и мягкой консистенции. Скважины под опытные сваи пробивались установкой УКС с использованием металлического лидера (штампа) круглого сечения длиной 4,2 м, диаметром 0,43 м в верхней и 0,22 м в нижней части (рис.4). Глубина скважин составляла 3 м. Статической вдавливающей нагрузкой было испытано одиннадцать опытных свай, изготовленных по пяти технологическим схемам. Отличие схем заключалось в том, что после пробивки скважин в их дно и нижние части стенок дополнительно втрамбовывался различный объём жёсткого бетона. Затем сваи армировались и бетонировались бетоном класса В 22,5.

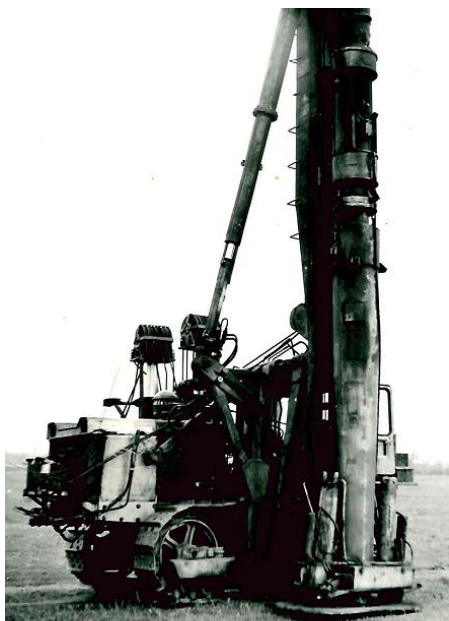


Рис. 4. Установка для пробивки (выштамповывания) конических скважин в грунте под сваи

Установлено, что дополнительное выштамповывание скважин двумя порциями жёсткого бетона по $0,15 \text{ м}^3$ увеличивает площадь опирания свай в забое до 2-х раз, предельное сопротивление свай возрастает с 170 кН до 616 кН, то есть в 3,6 раза.



Рис. 5. Булавовидные сваи

При устройстве опытных кустов из таких свай с прорезкой линз и прослоек несвязных и неустойчивых слабых грунтов, встречающихся в толще глин, вследствие динамического воздействия на грунт при погружении лидера происходили вывалы и осыпания стенок рядом расположенных готовых скважин. Выход был найден в использовании вкладышей, устанавливаемых в скважины сразу после их пробивки. Размеры вкладыша совпадали со скважиной по форме и размерам. Однако, при использовании вкладышей для изготовления кустов свай на 67 % снижалась производительность работ, и на 31 % – несущая способность фундаментов. Это было связано с затратами времени на вдавливание вкладышей в пробитые скважины и наличием неустраняемых зазоров между их поверхностью и стенками скважин. Проведенные исследования позволили запроектировать фундаменты из набивных конических свай при строительстве корпуса полимеризации завода химического волокна со значительным экономическим эффектом.

Известен способ прорезки слабых грунтов *булавовидными сваями* длиной 6...10 м, сечением $30 \times 30 \text{ см}$ с уширением нижнего конца до $50 \times 50 \text{ см}$ (рис.5). Такие сваи целесообразно применять, когда на строительной площадке от поверхности залегают слабые оплывающие грунты (рыхлые пески, супеси текучей консистенции, мягкопластичные глинистые или заторфованные грунты, илы), подстилаемые относительно плотными грунтами. При этом заглубление уширенной части свай в относительно плотные грунты должно быть не менее, чем на высоту уширения. Такие сваи могут применяться для устройства фундаментов жилых и общественных зданий, объектов сельскохозяйственного назначения при статических вдавливающих нагрузках. Их не рекомендуется применять при больших горизонтальных нагрузках.

Однако булавовидные сваи в слабых грунтах имеют более высокую удельную несущую способность (отнесённую на 1 м^3 материала), чем забивные призматические сваи - в среднем 1,5...2,5 раза, что позволяет снизить стоимость возведения свайных фундаментов. Имеющийся опыт показывает, что уширенная часть свай позволяет воспринимать увеличенные нагрузки, а призматическая часть в образовавшейся скважине довольно быстро заливается. Опыт их погружения показал, что забивка в плывуны нерациональна.



Рис. 6. Свайное поле из булавовидных свай тепличного комбината в г. Кзыл-Орде

Вывод. Фундаменты из пирамидальных и булавовидных свай, в вытрамбованных котлованах и пробитых конических скважинах на слабых грунтах были применены при строительстве промышленных, гражданских и сельскохозяйственных объектов и доказали свою технологическую и экономическую эффективность. Необходимо дальнейшее совершенствование и исследование рассматриваемых конструкций фундаментов для других специфических видов грунтовых условий.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. СП 11-105-97. Инженерно-геологические изыскания для строительства. Часть III. Правила производства работ в районах распространения специфических грунтов.
2. ГОСТ 5686-2012. Грунты. Методы полевых испытаний сваями.
3. Пивень В. Г., Рыбников А. М. Применение пирамидальных свай в просадочных грунтах //

При ударе молота по голове булавовидной сваи погружение происходит незначительное. Оптимальным является применение вибропогружателя. На булавовидных сваях был возведен сельскохозяйственный корпус многоцелевого назначения в г. Петропавловске (рис. 6). Единая номенклатура таких свай не разработана, поэтому при их применении используют разработки и данные натурных испытаний свай различных организаций.

Тезисы докладов научно-практической конференции «Прогрессивные конструкции фундаментов и методы производства работ по их устройству». Оренбург: Изд-во «Южный Урал». 1986. С. 30–32.

4. СП 24.13330.2011. Свайные фундаменты. Актуализированная редакция СНиП 2.02.03-85.

5. СП 22.13330.2011. Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83*.

6. Моисеев Ю.Н. Выбор рациональных технологических схем устройства набивных конических свай в выштампованном ложе // Тезисы докладов областной научно-практической конференции «Эффективные конструкции фундаментов для промышленного и гражданского строительства в грунтовых условиях Оренбургской области». Оренбург: Изд-во «Южный Урал». 1984. С. 12–13.

Информация об авторах

Рыбникова Ирина Александровна, старший преподаватель кафедры гуманитарных и естественнонаучных дисциплин.

Новороссийский филиал Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова. Россия, 353915, Краснодарский край, г. Новороссийск, ул. Мысхакское шоссе, д.75.

Рыбников Александр Михайлович, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, доцент кафедры «Подъемно-транспортные машины и комплексы».

E-mail: a.ribnikov@novoroskhp.ru.

Государственный морской университет имени адмирала Ф.Ф. Ушакова.

Россия, 353918, Краснодарский край, г. Новороссийск, пр. Ленина, д. 93.

Поступила в сентябре 2017 г.

© Рыбникова И.А., Рыбников А.М., 2017

Rybnikova I.A., Rybnikov A.M.

THE EXPERIENCE OF FOUNDATIONS IN SOFT SOILS

The definition of soft soils as ground structures. The design of precast pyramidal, clavate, tapered piles in vystupovani wells and foundations in wyrmbane pits. The results of field in-situ tests static indenting load in loose soils, the results of which determined their bearing ability and designs for the foundations of these structures. The technology of piling and foundations using special equipment. Lit positive experience with foundations in weak soils under buildings and structures for various purposes in different regions. Monitoring of sediments of constructed buildings and structures on the designs of the bases showed their reliability.

Keywords: *soft ground, pyramidal piles, matramony pit, stamped bore, conical pile, club-shaped pile, bearing capacity.*

Information about the authors

Rybnikova Irina Aleksandrovna, Senior lecturer.

Belgorod State Technological University named after V. G. Shukhov, Novorossiysk branch.

Russia, 353915, Krasnodar region, Novorossiysk, Myshaksky highway str., 75.

Rybnikov Aleksandr Mikhailovich, Ph.D., Assistant professor, Senior researcher.

E-mail: a.ribnikov@novoroskhp.ru

State Maritime University named after admiral F. F. Ushakov.

Russia, 353918, Krasnodar region, Novorossiysk, Lenin Avenue, 93.

Received in September 2017

© Rybnikova I.A., Rybnikov A.M., 2017