

И.С. Бровко¹, Д.Ж. Артыкбаев^{1*}

Южно-Казахстанский университет имени М. Ауезова, Шымкент, Казахстан

Информация об авторах:

Бровко Игорь Степанович – доктор технических наук, Южно-Казахстанский университет им. М. Ауезова, Шымкент, Казахстан, <https://orcid.org/0000-0003-0159-232Xbrovkoi56@mail.ru>

Артыкбаев Дархан Жаксылыкович – доктор PhD, Южно-Казахстанский университет им. М. Ауезова, Шымкент, Казахстан <https://orcid.org/0000-0003-4794-8707>, email: artykbaev_d@mail.ru

ОСНОВНЫЕ АСПЕКТЫ СОВМЕСТНОЙ РАБОТЫ СВАЙ ПРИ ОБЪЕДИНЕНИИ ИХ В КУСТЫ

Аннотация. Показана актуальность, многофункциональность использования и современные технологические особенности применения свайных конструкций, которые в современных условиях строительства имеют важное практическое значение. Приводится анализ установленных особенностей работы одиночных свай и свайных кустов. Получены новые данные о работе свай в составе плитно-свайных фундаментов, которые согласуются с ранее выполненными исследованиями и могут быть использованы при решении практических вопросов, связанных с возведением высотных зданий в сложных геологических условиях.

Ключевые слова: сваи, свайно-плитный фундамент, анкерная конструкция, известковый столб, длина свай, глубина погружения свай, межсвайное пространство.

Введение

Сваи применяются с очень древних времен и первоначально предназначались для использования в районах, где с поверхности залегают слабые слои грунта и использовать фундаменты мелкого заложения не представлялось возможным. То есть, в начале, их функция ограничивалась передачей усилий от зданий на глубоко расположенные от поверхности прочные основания. Со временем, благодаря широким возможностям в модификации этого вида фундаментных конструкций, сваи еще стали применяться как:

- удерживающий элемент из сплошного или разреженного ряда свай для закрепления грунта на крутых склонах и стенок глубоких котлованов;
- анкерные конструкции при выдергивающих нагрузках на фундаменты;
- противофильтрационные завесы, препятствующие затоплению котлованов подземными водами;
- сваи-дрены и известковые столбы в грунте для понижения уровня подземных вод;
- столбы, устраиваемые путем мокрого глубинного перемешивания местного грунта с цементом с целью улучшения строительных свойств оснований;
- свайные кусты и свайно-плитные фундаменты и т.д.

По мере все более широкого применения свай, стали совершенствоваться их конструкции, которые посредством передовых разработок и научных исследований стремились наилучшим образом адаптировать к особенностям региональных геологических условий. Так появились конусообразные и пирами-

дальные сваи, сваи с уширениями, с разной конфигурацией поперечного и продольного сечения ствола, всевозможные комбинированные конструкции, в том числе сочетающие в себе использование разных материалов и т.д. В необходимых случаях через трубчатый ствол сваи можно устраивать уширение путем втрамбовывания бетона или другого материала в плоскости нижних концов или устроить раскрывающийся наконечник для увеличения площади опоры.

Материалы и методы

Все время совершенствуются методы устройства, среди которых наиболее технологичными являются: изготовление буронабивных свай как SOB-колонны (CFA), Double Rotary, устройство свай под защитой обсадной трубы, устройства набивных свай уплотнения (DDS), с использованием винтового теряемого наконечника (сваи Атлас), сваи в пробитых скважинах, по разрядноимпульсной технологии (ПИТ), струйная технология цементации грунтов (jet-grouting), методом сухого (Dry DSM) и мокрого (Wet DSM) перемешивания цемента с грунтом и мн. др.

История свайного фундаментостроения показывает, что этот вид фундаментов отличается повышенной надежностью, высокой сейсмостойчивостью, отличается малыми деформациями оснований, высокой степенью механизации при их устройстве и еще рядом преимуществ по сравнению с другими конкурентными видами фундаментов и методами подготовки оснований. И возможности свайных фундаментов еще далеко не исчерпаны.

В рамках одной статьи невозможно отразить все многообразие этого очень полезного и своеобразного вида фундаментов. Поэтому здесь будут рассмотрены виды свай, устройство которых обеспечивает полное вытеснение грунта в окружающий геомассив, то есть это забивные сваи, сваи в пробитых или раскатанных скважинах и т.п. Передача нагрузки в окружающий массив через острие и боковую поверхность, позволяет максимальным образом использовать несущую способность грунта основания. Следует отметить, что несущая способность практически всех видов грунтов, встречающихся в практике (за небольшим исключением, когда в основания сложены скальными образованиями), всегда меньше, чем несущая способность материала тела свай. Поэтому, в последнее время используется термин «Испытания грунтов сваями», хотя раньше говорили – «Испытания свай».

Очевидно, что прежде, чем перейти к оценке взаимодействия свай при их близком расположении в кусты, необходимо привести опыт по исследованию работы одиночных свай. В этом направлении проведено большое количество исследований в широком диапазоне геологических условий, с разнообразными видами свай. Сравнение этих данных позволяет судить об особенностях работы свай при их взаимном влиянии при работе на близких расстояниях.

К настоящему времени работа одиночной сваи, трудами целого ряда исследователей изучена достаточно глубоко. Но, вместе с тем, не до конца раскрыт ряд важных вопросов, связанных со сложным и неоднозначным процессом трансформации оснований при погружении в них свай. Не раскрыты до кон-

ца вопросы изменения физико-механических свойств грунта вблизи погруженных свай; определения глубины активной зоны сжатия оснований; прочностных и деформационных свойств под подошвой; пригрузка подошвы свай от сил трения по боковой поверхности и наоборот; развития сил трения по длине свай в зависимости от геологических условий и т.д. Эти аспекты трудно поддаются экспериментальным исследованиям в полевых условиях ввиду многофакторности этого процесса и необходимости ведения испытаний на большой глубине, ниже плоскости подошвы свай. Внедрение в грунт зондов, месдоз и другой измерительной аппаратуры вносит неоднородность и искажает протекание естественных физических процессов. А полученные теоретические решения требуют как раз точного экспериментального подтверждения в натуральных условиях.

Одним из важнейших вопросов исследования работы одиночных свай является влияние глубины погружения на их несущую способность и деформации оснований. Отнесение свай к коротким или длинным обязательно увязывается с размерами поперечного сечения ствола данной сваи, то есть определяется соотношением L/d , где L – длина сваи, а d – диаметр поперечного сечения. С увеличением длины сваи меняется характер ее работы. Это связано с тем, что на взаимодействие сваи с грунтом с увеличением глубины забивки начинают оказывать влияние дополнительные факторы, такие как степень обжатия грунтом, сопротивление по подошве сваи, сжимаемость самой сваи и т.д.

Многочисленными исследованиями установлено, что свая передает максимально возможную нагрузку на грунт в том случае, когда имеет место ее вертикальное перемещение относительно окружающего грунта. Такое состояние наступает не сразу, а формируется лишь, при приложении полной проектной нагрузки на сваю. В работе [1] Далматовым Б. И. и др. рассматривается характер передачи усилий упругой длинной сваем, внедренной в линейно-деформируемый грунт. Отмечается, что первые ступени нагрузок идут на преодоление сопротивления грунта по боковой поверхности в верхней части массива грунта и только дальнейшее увеличение нагрузок приводит к постепенному включению в работу оставшейся части боковой поверхности и острия сваи. Такая схема передачи нагрузки объясняется деформацией ствола сваи, последовательным уменьшением ее длины и, соответственно, развитием сил сопротивления грунта сдвигу. При относительно малых перемещениях эти силы будут малы. Но при больших перемещениях сваи они возрастают и будут максимальны на тех участках ствола, где относительные перемещения максимальны.

Результаты и обсуждение

Результаты экспериментальных исследований работы длинной одиночной сваи, проведенные Несмеловым Н. С. [2] на моделях методом эквивалентных материалов подтвердили такой характер передачи усилий. Автором установлено, что силы трения увеличиваются только до определенного предела, после чего происходит проскальзывание свайной конструкции. После такого процесса, в момент, когда в нижней части боковой поверхности сваи грунт находится в упругой стадии, а верхний грунт может находиться в предельном состоянии

может произойти местное проскальзывание. Характер распределения сил трения по боковой поверхности сваи близок к равномерному при предельных значениях нагрузки.

К особенностям передачи нагрузки от сваи в грунт следует отнести и то, что по данным откопки уже забитых свай отмечается, что плоскость сдвига происходит не между, как казалось бы, бетоном и грунтом, а между так называемой тиксотропной «рубашкой» и окружающим массивом грунта. Эта «рубашка» представляет собой тонкий слой в 2 – 3 см уплотненного, как бы налипшего на сваю грунта, который перемещается вместе со сваем. Таким образом, можно говорить, что при перемещении сваи, сдвиг происходит между уплотненным грунтом, «налипшим на сваю», и окружающим массивом. Толщина этой «рубашки» будет естественно зависеть от вида грунта, в частности его консистенции. Это свойство, с одной стороны, полезно, так как увеличивается площадь поперечного сечения сваи и, следовательно, ее несущая способность. Но, с другой стороны, образование «рубашки» препятствует решениям, когда пытаются искусственно увеличить площадь боковой поверхности, применяя двутавровую, крестообразную и т.п. формы вместо квадратного или прямоугольного поперечного сечения ствола.

Важен вопрос о сжимаемости самого ствола сваи. Если ранее, примерно до 1980 г. этим фактором, в основном, пренебрегали, так как по статистике на то время до 90% свай использовалось длиной до 12 м, то с ростом высотного строительства и больших нагрузок на фундаменты использование длинных свай происходит все чаще. В настоящее время глубина погружения свай и бареттв несколько десятков метров все чаще применяется в строительстве. Характерен пример габаритов фундаментов глубокого заложения под высотное здание в Санкт-Петербурге [3]. Буровая свая диаметром 1,2 м имела длину 52,8 м и баретта 63,4 м с поперечным сечением 3,3x1,0 м. Нагрузка при испытании этой сваи доводилась до 3,5 тыс. тонн. В таких случаях пренебрегать упругим сжатием ствола сваи будет ошибочным, так как, по мнению ряда авторов [1, 4, 5] эти деформации становятся соизмеримыми с величиной осадки грунта под подошвой свайных фундаментов. Одной из работ, в которой описаны осадки различных по глубине участков длинной сваи с учетом упругой сжимаемости ее ствола является диссертация А.Н. Бадеева [5].

В рассмотренных работах общим является то, что для изучения работы свай рассматриваются явления, происходящие на контакте ее с грунтом и в самой свае. Однако напряженно-деформируемое состояние грунта вокруг сваи также имеет немаловажное значение при изучении совместной работы свай и грунтового основания. Известно, что характер и размеры зоны деформаций грунта при работе ее под нагрузкой имеют большое влияние на работу свай.

Черновым В. К. и др. [6] были проведены опыты с целью изучения характера и размеров зон деформаций глинистого грунта вокруг свай. Испытанные сваи в полевых условиях имели сечение 0,35 x 0,35 м и длину 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12 м. С помощью фиксаторов перемещений, установленных в грунте из предварительно откопанных шурфов глубиной до 13 м, определялись перемещения

грунта вокруг свай. Полученные результаты испытаний показали, что зоны деформаций грунта, образовавшиеся при забивке свай, имели форму цилиндра радиусом $3-3,5d$. До глубины примерно $4d$, ниже острия свай, распределяется зона уплотнения грунта. Причем, с увеличением глубины забивки с 4-х до 9 метров, характер и зоны деформаций практически не изменяются.

Приведенные данные о характере передачи нагрузки одиночной сваей в окружающий массив грунта являются базовыми понятиями, принимаются за основу при ведении расчетов и вошли в разнообразные нормы проектирования.

Но в некоторых случаях грунт, если обладает своеобразными специфическими свойствами, вносит кардинальные изменения в характер развития сил трения на боковой поверхности свай. Он не только не способствует удержанию сваи, но и, наоборот, приводит к ее дополнительному нагружению. Такое развитие сил трения принято называть «отрицательным или негативным», и возникает оно при смещении грунта вниз относительно боковой поверхности сваи в структурно-неустойчивых грунтах, к которым относятся просадочные грунты. Этот тип грунтов широко распространен на юге Казахстана, что делает применение свай, устраиваемых с полным вытеснением грунта, в данном регионе проблематичным.

Цель приведенного краткого обзора – в сжатом виде изложить основные особенности взаимодействия свай с грунтом и процессы, происходящие в теле сваи, что является отправной точкой при переходе к рассмотрению работы свай в кусте, многорядных лентах и свайных полях.

Установление характера и зон деформаций вокруг свай, характера передачи усилий одиночной сваей важно для изучения работы свай с учетом окружения ее аналогичными сваями, то есть в составе группы.

Взаимное влияние свай, работающих в составе куста, отличает их от работы одиночных свай. Одним из первых это установил инженер Лебединский Н.К. в 1894 г. С тех пор этот процесс неизменно дополняется новыми исследованиями как у нас в стране, так и за рубежом.

Особенно ценным в этих исследованиях явилось то, что, дополняя друг друга, этими работами выявлялись физические процессы, происходящие в основании при групповом устройстве свай. Это открыло широкие возможности по учету взаимного влияния свай друг на друга, разработке расчетных схем взаимодействия групп свай с грунтом, методов их расчета по деформациям и несущей способности, изменения модуля деформации с учетом глубины приложения нагрузки и других основополагающих моментов. Резюмируя данные, полученные этими исследователями, приведем основную информацию о процессах, происходящих в межсвайном пространстве, удачно сформулированную в работе Знаменского В.В. [7]: «Характер передачи нагрузки кустовыми сваями отличается от одиночной сваи за счет осадки грунта межсвайного пространства, вызванного взаимным влиянием свай и работы низкого ростверка. Это снижает силы трения по боковой поверхности кустовых свай. Отличие состоит в изменении соотношения нагрузок, передаваемых боковой поверхностью и острием свай куста по сравнению с одиночной сваей. У кустовой сваи

соотношение нагрузок изменяется в сторону увеличения участия острия в несущей способности свай. Степень снижения сил трения по боковым поверхностям свай куста зависит от расстояния между ними, местоположения свай в кусте и типа ростверка.

Большее снижение сил трения по боковым поверхностям свай куста зафиксировано при расстояниях между ними в $3-4d$, где d – поперечный размер ствола свай. При этом расстоянии и низком ростверке на долю боковой поверхности, например, в грунтах тугопластичной и твердой консистенции, приходится 40% от общей нагрузки у угловых свай и 20% у центральных свай по сравнению с 80% у одиночной свай. Разница в несущих способностях боковых поверхностей угловых, рядовых и центральных свай объясняется снижением сил трения по тем поверхностям, которые обращены внутрь куста, где грунт перемещается с ними совместно. При расстояниях между сваями $3-4d$ и высоком ростверке степень снижения по внутренним боковым поверхностям свай несколько уменьшается.

С увеличением расстояния между сваями степень снижения сил трения по боковым поверхностям кустовых свай уменьшается и в значительной мере зависит от типа ростверка. Так несущая способность боковой поверхности свай куста с низким ростверком в прочных глинистых грунтах при расстоянии между сваями $6d$ в 1,6 – 1,7 раз меньше, чем свай куста с высоким ростверком, что объясняется большей степенью снижения сил трения за счет осадки грунта межсвайного пространства под подошвой низкого ростверка.

Следствием неодинакового снижения сил трения по боковым поверхностям свай куста является неравномерное распределение нагрузки между ними. Так наибольшую нагрузку принимает на себя угловая свая, затем рядовая и наименьшую – центральная. Наибольшая разница в несущих способностях свай куста наблюдалась в опытах при расстояниях между сваями $3-4d$ с высоким ростверком. Низкий ростверк снижает неравномерность распределения нагрузки между сваями куста, хотя и вызывает большее снижение сил трения по внутренним боковым поверхностям свай.

Изменившийся характер передачи нагрузки существенным образом влияет на осадки кустовых свай. Прежде всего, отмечается изменение характера кривой графика «осадка-нагрузка» кустовых свай по сравнению с одиночной. Если для графика одиночной свай характерен достаточно резкий перелом в точке потери несущей способности боковой поверхностью, после чего осадка получает провальный характер, то осредненная осадка кустовой свай нарастает более плавно, постепенно переходя в прогрессирующие. Кроме того, абсолютные осадки кустовых свай превышают осадки одиночной свай при тех же значениях вертикальной нагрузки. Это объясняется смещением центра тяжести передачи нагрузки кустовыми сваями ближе к нижним концам. Увеличивается и площадь передачи нагрузки при небольших расстояниях между сваями, что, в свою очередь, приводит к увеличению активной зоны сжатия грунта, а, следовательно, и осадок кустовых свай и исключается резкая потеря несущей способности».

Сравнение этих данных с результатами исследования свайных фундаментов в слабых глинистых грунтах, проведенных Сальниковым Б.А. [8], показало их идентичность. Это позволяет говорить о том, что характер передачи нагрузки свайными фундаментами в окружающий геомассив в принципе одинаков, за исключением грунтов особой группы – просадочных. Разница заключается лишь в степени влияния тех или иных факторов количественно на их несущую способность и осадки.

Анализ характера передачи нагрузки свайными фундаментами позволил сделать вывод, что при расстояниях между сваями до $4d$ в глинистых грунтах тугопластичной и полутвердой консистенции и при расстояниях между сваями до $3d$ в текучепластичных глинистых грунтах имеет место перераспределение и выравнивание напряжений, возникающих от усилий, передающихся через нижние концы свай. Это дает возможность, с достаточной для практических целей точностью, принять равномерное распределение нагрузки в плоскости нижних концов при кустовой работе свай. Выравниванию напряжений в плоскости подошвы свайных фундаментов способствует дополнительная пригрузка от смещающегося вниз межсвайного грунта, «зажатого» между сваями.

Дальнейшими исследованиями под руководством проф. Дорошкевич Н.М. [9] была дана оценка работы боковой поверхности свай, как одиночных, в том числе большой длины, так и кустовых. Эта задача отличается еще большей сложностью, ввиду разнообразия грунтовых напластований, с которыми контактирует свая при ее погружении, необходимости определения параметров зон уплотнения вдоль боковой поверхности и учета воздействия свай друг на друга при кустовом расположении, глубины их погружения и т.д. На основании усовершенствования решений Далматова Б.И., Пати Д. [10] и др. учеными этой школы были получены данные, позволяющие рассматривать работу свай в группе при расстояниях между сваями $3-4d$, как единый грунтосвайный массив, который передает нагрузку на нижерасположенные слои грунта через две грузовые площади – от работы острия и отдельно боковой поверхности. Раздельный учет работы острия и боковой поверхности позволил более точно определять распределение напряжений в основании, а, значит, и получать более точные значения несущей способности и деформации кустов свай.

Очень важным моментом при оценке деформаций грунта в основании свайных фундаментов является правильное определение модуля общих деформаций, который, по мнению В.Н. Голубкова (1963г.) [11], А.А. Бартоломея (1965г.) [12], А.А. Луга (1967г.) [13], увеличивается при забивке свай в результате дополнительного уплотнения грунта.

В этом плане очень полезны натурные испытания свай и применение свай-штампов. По данным А.А. Луга, значения модуля деформации по данным статических испытаний свай значительно больше, чем определенные в лабораторных условиях по извлеченным образцам грунта. А.А. Бартоломеем на основании выполненных испытаний свай-штампом, так же подтверждается факт, что E_0 под подошвой свай может в 10 и более раз превышать E_0 , определенное в приборах компрессионного сжатия.

Накопленный опыт исследований и внедрения в производство одиночных и кустовых свай, позволил перейти к возведению зданий и сооружений на сплошных свайных полях, которые сверху объединены единой монолитной плитой под все здание сразу. Таким образом, используется комбинация из конструкций, которые в других условиях применяются как самостоятельные виды фундаментов. Образующие свайно-плитные фундаменты (СПФ), иногда в состав которых включаются баретты, являются самыми мощными опорными конструкциями для зданий и используются при возведении преимущественно высотных зданий. При проектировании опорной конструкции могут быть использованы комбинации свай разного типа и плиты с различным уровнем погружения в грунт.

Для выбора конкретного варианта данного сочетания строительных конструкций необходимо четкое представление о взаимодействии этого комбинированного фундамента с грунтом. Имеющиеся данные, полученные расчетным путем, требуют экспериментального подтверждения. Но полевые эксперименты очень трудоемки, громоздки и практически невыполнимы из-за больших размеров конструкций и действующих усилий. Можно предположить, что испытания зданий в целом при оснащении их исследовательской аппаратурой могут дать исчерпывающую информацию. Но о таких испытаниях нам неизвестно, и поэтому при исследованиях взаимодействия ПСФ с окружающим массивом грунта и для выявления роли каждого вида свай (центральных, рядовых, угловых) использовались исследования на моделях методом эквивалентных материалов. Экспериментальные исследования моделей СПФ проводились С.Б. Енкебаевым [14], результаты которых приведены на рисунках 1 – 5.

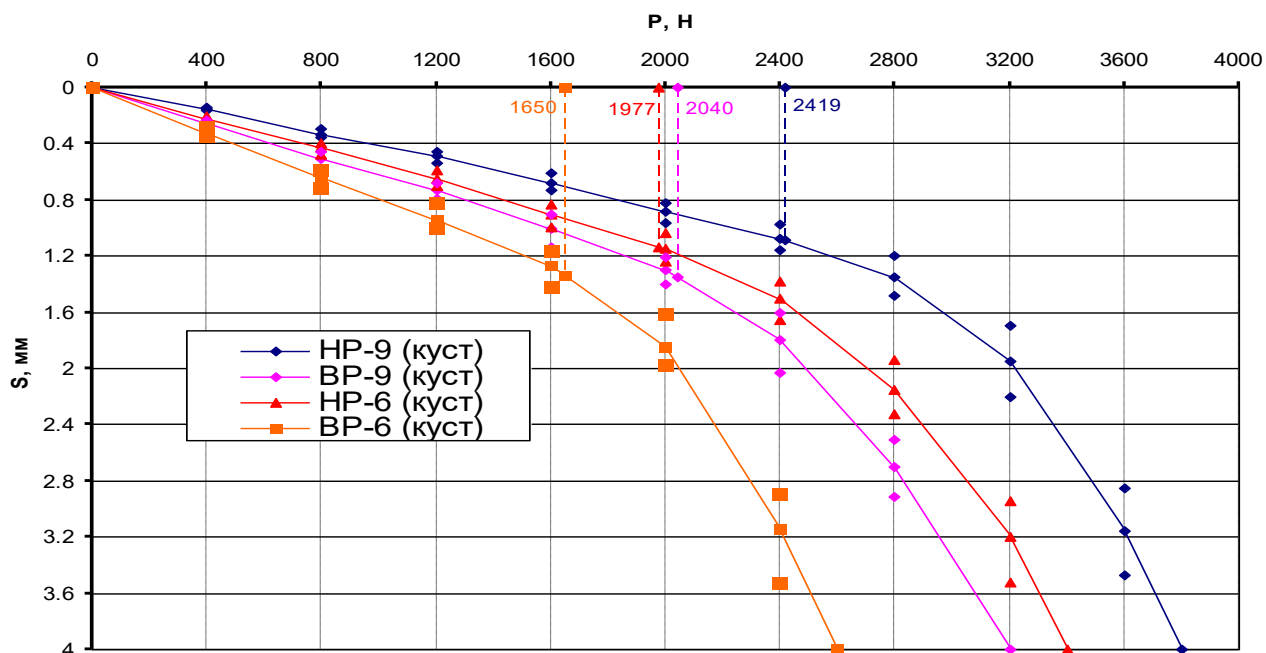


Рисунок 1 – Результаты испытаний фрагментов плитных фундаментов при разной длине свай и положении ростверка [материал автора]

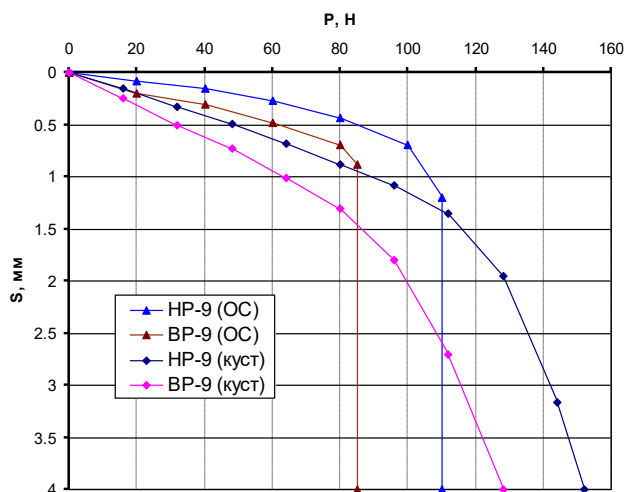


Рисунок 2 – Сопоставление графиков «нагрузка – осадка» для одиночной и кустовой сваи длиной $L = 9$ м, работающей в составе фундамента с высоким и низким ростверком [материал автора]

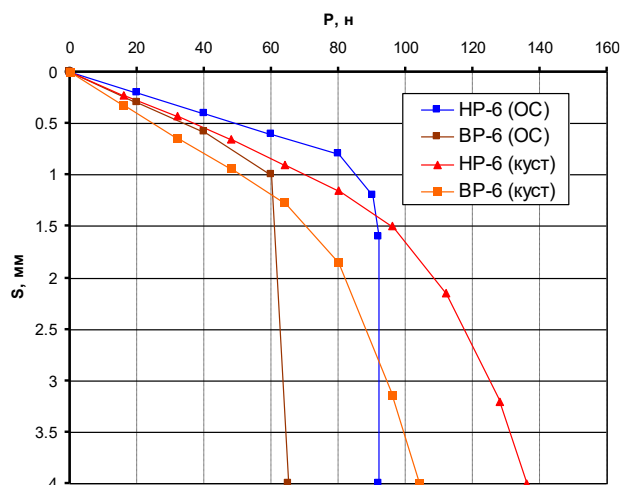


Рисунок 3 – Сопоставление графиков «нагрузка - осадка» для одиночной и кустовой сваи длиной $L = 6$ м, работающей в составе фундамента с высоким и низким ростверком [материал автора]

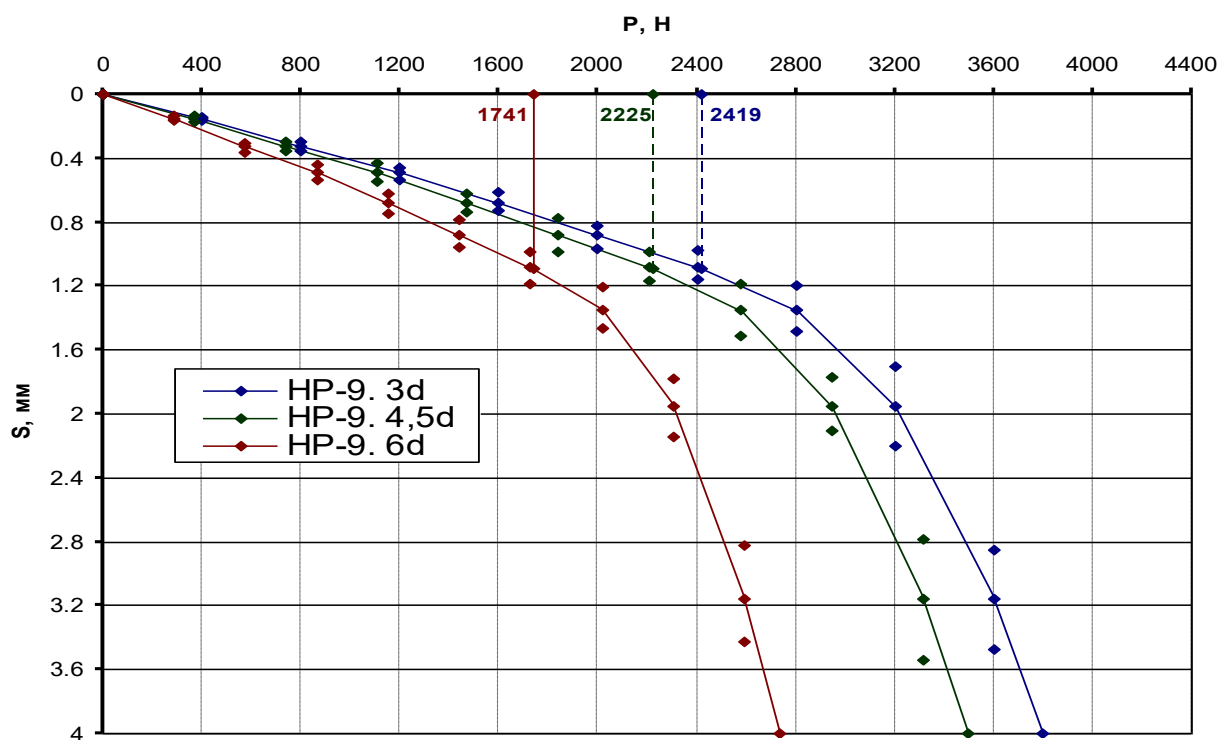


Рисунок 4 – Изменение графиков «нагрузка-осадка» при разном расстоянии между сваями в фундаменте. Низкий ростверк. Длина свай $L = 9$ м [материал автора]

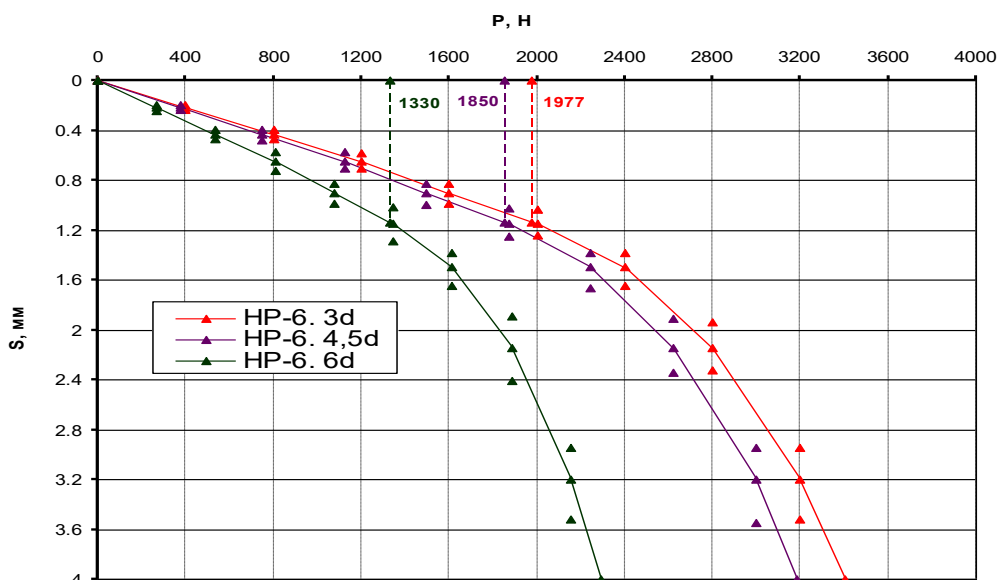


Рисунок 5 – Изменение графиков «нагрузка-осадка» при разном расстоянии между сваями в фундаменте. Низкий ростверк. Длина свай $L = 6$ м [материал автора]

Заключение

Полученные данные хорошо согласуются с ранее выполненными исследованиями и могут быть использованы при решении практических вопросов, связанных с возведением высотных зданий на плитно-свайных фундаментах в сложных геологических условиях.

Литература:

1. Далматов Б.И., Лапшин Ф.К., Россихин Ю.В. Проектирование свайных фундаментов в условиях слабых грунтов. 1975, 237 с.
2. Несмелов Н.С. Экспериментально-теоретические исследования формирования осадок свай большой длины при вертикальной нагрузке: дисс. ... канд. техн. наук. Л., 1974., 197с.
3. Васенин В.А. Численное моделирование буровой сваи и баретты для строительства высотного здания в г. Санкт-Петербург. Геотехника. 2010, 5, 38-47.
4. Югай О.К. Особенности работы фундаментов из свай большой длины при действии центральной нагрузки: дисс. ... канд. техн. наук. М., 1981, 150 с.
5. Бадеев А.Н. Учет сжимаемости ствола свай и слоистости основания при проектировании свайных фундаментов большой длины: дисс. ... канд. техн. наук. М., 1982, 174 с.
6. Чернов В. К., Знаменский В. В., Юрко Ю. П. О деформациях глинистых грунтов вокруг забивных свай. В сб.: Строительство в районах Восточной Сибири и Крайнего Севера. 1970, 16, 17-29.
7. Знаменский В.В. Работа свайных фундаментов в глинистых грунтах и расчет их по деформациям основания: дисс. ... канд. техн. наук. М., 1971, 177 с.
8. Сальников Б.А. Исследование несущей способности свайных фундаментов в слабых глинистых грунтах: дисс. ... канд. техн. наук. М., 1969, 183 с.
9. Дорошкевич Н.М. Исследование напряжений в грунте при свайных фундаментах: дисс. ... канд. техн. наук. М., 1959, 152 с.
10. Пати Д. Вопросы сопротивления свай большого диаметра и их совместной работы с грунтом: дисс. ... канд. техн. наук. М., 1962, 127 с.
11. Голубков В.Н. Материалы полевых исследований совместной деформации свайных фундаментов и их оснований. Изв. Вузов, строительство и архитектура. 1966, 67 с.

12. Бартоломей А.А. Основы расчета ленточных свайных фундаментов по предельно-допустимым осадкам. М.: Стройиздат, 1982, 213 с.
13. Луга А.А. Комплекс исследований прочности и устойчивости фундаментов опор мостов. Доклад об опубликованных работах, представленный к защите на соиск. уч. ст. д.т.н. М., 1967, 149 с.
14. Енжебаев С.Б. Исследование взаимодействия высотного сооружения со свайным основанием: дисс. ... канд. техн. наук. Астана, 2009, 137 с.

References:

1. Dalmatov B.I., Lapshin F.K., Rossihin Yu.V. (1975) *Proektirovanie svaynyih fundamentov v usloviyah slabyyih gruntov* [Design of pile foundations in conditions of weak soils] – Stroyizdat, 237. (in Russ.)
2. Nesmelov N.S. (1974) *Eksperimentalno-teoreticheskie issledovaniya formirovaniya osadok svay bolshoy dlinyi pri vertikalnoy nagruzke: diss. ... kand. tehn. Nauk* [Experimental and theoretical studies of the formation of large-length pile sediments under vertical load: diss. ... Candidate of Technical Sciences]. L., 197. (in Russ.)
3. Vasenin V.A. *Chislennoe modelirovanie burovoy svai i baretty dlya stroitelstva vyi-sotnogo zdaniya v g. Sankt-Peterburg* [Numerical simulation of a drilling pile and a baretta for the construction of a high-rise building in St. Petersburg] *Geotekhnika = Geotechnics*. 2010, 5, 38-47. (in Russ.)
4. Yugay O.K. (1981) *Osobennosti raboty fundamentov iz svay bolshoy dlinyi pri deystvii tsestralnoy nagruzki: diss. ... kand. tehn. nauk* [Features of the work of foundations made of piles of large length under the action of a central load: diss. ... Candidate of Technical Sciences]. M., 150. (in Russ.)
5. Badeev A.N. (1982) *Uchet szhimaemosti stvola svay i sloistosti osnovaniya pri proektirovanii svaynyih fundamentov bolshoy dlinyi: diss. ... kand. tehn. nauk* [Taking into account the compressibility of the pile trunk and the layering of the base when designing pile foundations of long length: dis. ... candidate of Technical Sciences]. M., 174. (in Russ.)
6. Chernov V. K., Znamenskiy V. V., Yurko Yu. P. *O deformatsiyah glinistyyih gruntov vokrug zabivnyih svay* [On deformations of clay soils around driven piles] *V sb.: Stroitelstvo v rayonah Vostochnoy Sibiri i Kraynego Severa = In the collection: Construction in the regions of Eastern Siberia and the Far North*. 1970, 16, 17-29. (in Russ.)
7. Znamenskiy V.V. (1971) *Rabota svaynyih fundamentov v glinistyyih gruntah i raschet ih po deformatsiyam osnovaniya: diss. ... kand. tehn. Nauk* [The work of pile foundations in clay soils and their calculation by deformations of the base: diss. ... Candidate of Technical Sciences]. M., 177. (in Russ.)
8. Salnikov B.A. (1969) *Issledovanie nesuschey sposobnosti svaynyih fundamentov v slabyyih glinistyyih gruntah: diss. ... kand. tehn. Nauk* [Investigation of the bearing capacity of pile foundations in weak clay soils: dis. ... Candidate of Technical Sciences]. M., 183. (in Russ.)
9. Doroshkevich N.M. (1959) *Issledovanie napryazheniy v grunte pri svaynyih fundamentah: diss. ... kand. tehn. nauk*. [Investigation of stresses in the ground at pile foundations: diss. ... Candidate of Technical Sciences]. M., 152. (in Russ.)
10. Pati D. (1962) *Voprosyi soprotivleniya svay bolshogo diametra i ih sovmestnoy raboty s gruntom: diss. ... kand. tehn. Nauk* [Questions of resistance of large-diameter piles and their joint work with the soil: diss. ... Candidate of Technical Sciences]. M., 127. (in Russ.)
11. Golubkov V.N. *Materialyi polevyih issledovaniy sovmestnoy deformatsii svaynyih fundamentov i ih osnovaniy* [Materials of field studies of joint deformation of pile foundations and their bases] *Izv. Vuzov, stroitelstvo i arhitektura = Izv. Universities, construction and architecture*. 1966, 67. (in Russ.)
12. Bartolomey A.A. (1982) *Osnovy rascheta lentochnyih svaynyih fundamentov po predelno-dopustimyyim osadkam* [Fundamentals of calculation of tape pile foundations according to the maximum permissible precipitation] - M.: Stroyizdat, 213. (in Russ.)

13. Luga A.A. (1967) *Kompleks issledovaniy prochnosti i ustoychivosti fundamentov opor mo-stov. Doklad ob opublikovannyih rabotah, predstavlennoy k zaschite na soisk. uch. st. d.t.n. [A complex of studies of the strength and stability of the foundations of bridge supports. The report on the published works submitted for protection for the candidate of academic studies of the Doctor of Technical Sciences]. M., 149 s. (in Russ.)*
14. Enkebaev S.B. (2009) *Issledovanie vzaimodeystviya vyisotnogo sooruzheniya so svaynyim osnova-niem: diss. ... kand. tehn. Nauk [Investigation of the interaction of a high-rise structure with a pile foundation: diss. ... Candidate of Technical Sciences]. Astana, 137. (in Russ.)*

И.С. Бровко¹, Д.Ж. Артыкбаев^{1*}

М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент, Қазақстан

Авторлар жайлы ақпарат:

Бровко Игорь Степанович – техника ғылымдарының докторы, М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент, Қазақстан

<https://orcid.org/0000-0003-0159-232Xbrovko56@mail.ru>

Артыкбаев Дархан Жаксылықұлы – PhD докторы, М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент, Қазақстан

<https://orcid.org/0000-0003-4794-8707>, email: artykbaev_d@mail.ru

**БІРІКТІРІЛГЕН КЕЗДЕ ҚАДАЛАРДЫҢ БІРЛЕСКЕН
ЖҰМЫСЫНЫҢ НЕГІЗГІ АСПЕКТІЛЕРІ**

Аңдатпа. Қазіргі құрылыс жағдайында үлкен практикалық маңызы бар қадалық конструкцияларды қолданудың өзектілігі, қолданудың әмбебаптығы және заманауи технологиялық ерекшеліктері көрсетілген. Жалғыз қадалар мен қадаларды пайдаланудың белгіленген ерекшеліктеріне талдау берілген. Плиталы-қадалы іргетастардың құрамындағы қадаларды пайдалану бойынша жаңа деректер алынды, олар алдыңғы зерттеулермен сәйкес келеді және күрделі геологиялық жағдайларда көпқабатты үйлерді салуға байланысты практикалық мәселелерді шешу үшін пайдаланылуы мүмкін.

Түйін сөздер: қада, қадалы плиталы іргетас, анкерлі конструкциялар, әкті тіректер, қаданың ұзындығы, қада тереңдігі, қада аралық кеңістік, деформация модулінің мәндері.

I.S. Brovko¹, D.Zh. Artykbaev^{1*}

M. Auevov South Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan

Information about authors:

Brovko Igor Stepanovich – Doctor of Technical Sciences, South Kazakhstan University. M. Auevov, Shymkent, Kazakhstan

<https://orcid.org/0000-0003-0159-232Xbrovko56@mail.ru>

Artykbaev Darkhan Zhaksylykovich – Ph.D, South-Kazakhstan University named after. M. Auevov, Shymkent, Kazakhstan

<https://orcid.org/0000-0003-4794-8707>, email: artykbaev_d@mail.ru

**THE MAIN ASPECTS OF THE JOINT WORK OF PILES,
WHEN COMBINED THEM INTO THE BUSHES**

Abstract. The relevance, versatility of use and modern technological features of the use of pile structures, which in modern construction conditions are of great practical importance, are shown. An analysis of the established features of the operation of single piles and pile bushes is given. New data have been obtained on the operation of piles as part of slab-pile foundations, which are consistent with previous studies and can be used to solve practical issues related to the construction of high-rise buildings in complex geological conditions.

Keywords: Piles, pile-slab foundations, anchor structures, limestone pillars, pile length, pile insertion depth, inter-pile space, deformation modulus values.