

Михаил Иванович НИКИТЕНКО,
доктор технических наук,
профессор,
заведующий кафедрой
"Геотехника и экология
в строительстве"
Белорусского национального
технического университета

Николай Васильевич ЧЕРНОШЕЙ,
директор
ОАО "Буровая компания "Дельта"

НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ УСТРОЙСТВА СВАЙ БОЛЬШОЙ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ

NEW TECHNOLOGIES AND EQUIPMENT FOR CONSTRUCTION OF PILES OF HIGH LOAD-CARRYING CAPACITY

В статье изложены новые технологии для устройства буронабивных свай большой несущей способности, представлено используемое оборудование. Отражены достоинства этих технологий и их возможности в различных грунтовых условиях.

This paper presents new technologies and the equipment used for construction of bored piles of high load-carrying capacity. The advantages of these technologies and possibilities of using them in different soil conditions are described.

ВВЕДЕНИЕ

Новые технологии изготовления свай с использованием имеющегося в специализированных геотехнических компаниях современного зарубежного оборудования позволяют выполнять их устройство в сложных инженерно-геологических и гидрогеологических условиях. Благодаря чему повышается несущая способность оснований, что особенно важно при высотном строительстве и увеличении нагрузок на фундаменты. О новых технологиях устройства буронабивных свай и об используемом при этом оборудовании излагается далее в настоящей статье.

НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ УСТРОЙСТВА СВАЙ БОЛЬШОЙ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ

При выполнении буронабивных свай большая несущая способность их оснований обычно достигается за счет увеличения длины и диаметра стволов. Длину стволов назначают исходя из глубины погружения свай в несущие слои грунтов, хотя не учитывают то, что сопротивление даже однородного грунта возрастает с глубиной непропорционально — после 6–8 метров его интенсивность резко падает. Например, у песка средней крупности со средней плотностью (прочностью) сопротивление сжатию под нижним концом сваи можно увеличить в 1,5 раза (по сравнению с глубиной 5 м) лишь на глубине 24 м. Однако грунт всегда неоднороден, и по глубине сопротивление отдельных слоев сжатию может резко уменьшаться. Проще повысить общее сопротивление грунта сжатию в 1,5 раза за счет увеличения диаметра сваи всего лишь в 1,25 раза, но предпочтительнее не всего ствола, а лишь верхней (коническая форма) или нижней (уширение пяты) его части с передачей давления сжатию на наиболее прочные слои грунта [1, 2].

Можно также повышать прочность грунта его опрессовкой при втрамбовывании маловлажной бетонной смеси (или щебня) под пяту [1–5] или вытеснении грунта иными способами, например, закачкой раствора или бетона. Такие способы используются в новых технологиях устройства свай, появившихся в настоящее время в геотехнической практике разных стран, включая Беларусь.

Буроинъекционную технологию [2, 3, 6] уже много лет применяют белорусские геотехнические компании: УМ "Минскметрострой", ООО "Анкер", ЗАО "ВИЗБАС", ОДО "Фундаменты", СЧУП "Специнжстрой", ООО "ОптиОстрой", ООО "Атавия", ООО "Спецгеострой" и др.

ВЫПОЛНЕНИЕ СВАЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВИБРОПОГРУЖАТЕЛЕЙ

Эффективными оказались конические сваи, бетонные в скважинах при погружении в глинистые грунты пуансонов (рис. 1) соответствующей формы [1, 2, 5, 6].

Такие сваи выполнены на ряде объектов ОДО "Фундаменты", СЧУП "Специнжстрой", ООО "ОптиОстрой". Их достоинства выражаются в передаче на грунт сжатия по всей длине ствола, включение во взаимодействие даже верхних уплотняемых за счет распора насыпных грунтов в зоне между сваями при исключении негативного трения, ограничение активной толщи ниже подошв свай, что позволяет не прорезать сваями глубоких слабых биогенных слоев.

Вытеснять грунт с его опрессовкой и увеличением сопротивления сжатию и сдвигу по аналогии с забивными



Рис. 1. Погружение стального пуансона подвесным вибратором при создании скважины для буронабивной сваи (а) и общий вид распорной выштампованной пяты (б)



Рис. 2. Устройство вибронабивных свай:

а — погружение в водонасыщенный грунт обсадной трубы с теряемым наконечником при помощи станка АВИ с вибратором на направляющей стреле;
б — бетонирование ствола сваи



Рис. 3. Устройство буронабивных свай:

слева — погружение желонки для выемки из обсадки слабых грунтов над уплотненной грунтовой пробкой;
справа — вытеснение пробки второй трубой с глухим торцом

сваями позволяет погружение обсадных труб с заглушенным нижним торцом. Использование внизу труб теряемых конических наконечников и плоских крышек или формирование пробок из переуплотненного минерального грунта исключает его фильтрационное разуплотнение под пятой с проникновением разжиженной массы внутрь трубы даже под водой, что обеспечивает возможность бетонирования сплошного ствола по мере подъема обсадки. Погружение трубы при отпоре грунта по всему забою более трудоемко, а с открытым нижним концом без вытеснения грунта легче до глубины, пока внутри нее не сформируется пробка из уплотненного грунта, который требуется дополнительно извлекать из трубы до верха пробки. При наличии напора воды грунтовой пробку следует оставлять такой высоты, которая исключает ее размыв, а саму трубу погружать на такую же глубину.

Технологию устройства буронабивных свай с вибрационным погружением обсадных труб (рис. 2) в Беларуси весьма активно применяют СЧУП "Специнжстрой", ООО "ОптиоСтрой", ООО "Атавия", ООО "Инвестспецстрой-Гродно", ООО "АБИКОМ", ООО "Баутехник", ОАО "СУМ-96", используя при этом отечественные и зарубежные вибропогружатели. Кроме этого, в нашей республике по такой технологии работают компании из Литвы и Эстонии.

К достоинству данной технологии следует отнести повышенные скорость выполнения свай и несущую способ-

ность основания в любых геологических условиях. Но важный ее недостаток заключается в неблагоприятном влиянии на окружающие строения и подземные коммуникации динамических воздействий, слишком опасных и даже разрушительных, особенно в водонасыщенных грунтах с большим радиусом распространения при возникновении резонанса в процессе запуска и остановки механизма. Весьма ярко это проявилось в виде деформаций магазина "Ромашка" на проспекте Победителей в Минске при устройстве возле него свай для плитно-свайного фундамента под высотное здание [6]. Тем не менее, здесь, даже при вибропогружении обсадки 630 мм с открытым нижним концом и прорезке сверху насыпных и биогенных грунтов, вытеснение грунтовой пробки внутренней трубой 530 мм с заглушенным торцом (рис. 3) позволило впервые в Беларуси превысить значение 2800 кН несущей способности основания у буронабивных свай с длиной стволов по 8 м в водонасыщенном песке.

Для смягчения динамических воздействий в водонасыщенных грунтах одним из авторов данной статьи — д. т. н., профессором М. И. Никитенко — было предложено закачивать воздух через трубку снаружи обсадки к ее погружению при шадящем режиме вибрации. Еще больший эффект обеспечивает применение так называемых "безрезонансных" вибропогружателей, которые приобретены у западных производителей и используются СЧУП "Специнжстрой", ООО "Атавия", ООО "Баутехник" (рис. 4).

Технологию SFA (рис. 5) в настоящее время ОАО "Буровая компания "Дельта" применяет для выполнения буронабивных свай большой несущей способности с помощью итальянского оборудования (рис. 6).

По технологии SFA даже в неустойчивых водонасыщенных грунтах скважины бурят непрерывным полым шнеком. Через него в созданную скважину закачивается под давлением бетон, в который на требуемую глубину погружается арматурный каркас. Данная технология позволяет проводить устройство свай достаточно быстро, а опрессовка грунта под давлением вдоль всего ствола способствует исключению шламообразования. Это в свою очередь повышает несущую способность основания.

Скорости извлечения шнека и нагнетания бетонной смеси или цементного раствора в скважину должны быть синхронизированы, поскольку их соотношение определяет среднюю площадь поперечного сечения сваи, которое должно увязываться с проектным диаметром сваи и ее уширениями по длине. В случае ошибочного определения соотношения скоростей есть вероятность выбора неверного диаметра сваи. При быстром извлечении



Рис. 4. Погружение труб подвесным безрезонансным вибропогружателем

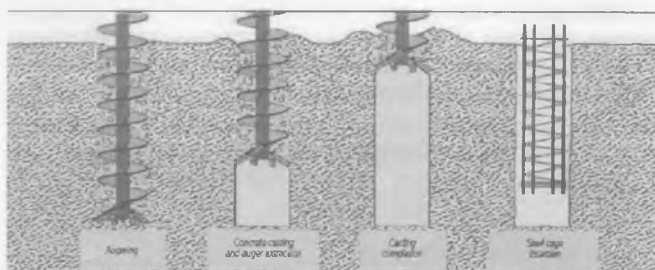


Рис. 5. Устройство буронабивной сваи при помощи полого непрерывного шнека



Рис. 6. Оборудование для устройства свай SFA:
 а — буровой станок со сплошным полым шнеком;
 б — буровой станок для проходки скважин;
 в — подъем шнека с бетоном на лопастях и погружение вибратором арматурного каркаса в скважину

шнека существует риск нарушения целостности ствола сваи, а при слишком медленном происходит избыточный расход бетонной смеси. Для исключения такого несоответствия используется современный бортовой компьютер, с помощью которого и обеспечивается дополнительный контроль целостности ствола и несущей способности свай. Благодаря использованию указанного оборудования в настоящее время имеется возможность устройства свай SFA диаметром от 0,3 до 1,0 м при их длине до 24,0 м.

Технология CSP (Cased Secant Piles — секционные сваи с обсадной трубой) предусматривает использование буровой установки с двумя вращателями для выполнения свай, в том числе свайных стен.

Традиционно сплошные линейные фундаменты выполняют по технологии "стена в грунте" с использованием грейферного ковша. Однако при этом требуется применение комплекта специального оборудования для приготовления, очистки и последующего хранения бентонитового раствора. В условиях плотной городской застройки размещение оборудования на стройплощадке, вывоз грунта, загрязненного бентонитовым раствором, с его последующей утилизацией создают проблемы и требуют дополнительных затрат.

Для технологии CSP разработаны специальные буровые установки с двумя вращателями для погружения обсадной трубы и внутри нее — непрерывного шнека (рис. 7), что позволяет обходиться без бентонитового раствора в любых грунтах, включая обводненные. Бурение начинают с погружения обсадной трубы на небольшую глубину, затем при вращении шнека и обсадной трубы в разные

стороны до заданной глубины, причем сохраняют опережение обсадной трубы, что исключает возможность грунтовым водам под напором разупрочнить окружающий грунт. На проектной глубине через полую часть шнека начинают закачку бетона с одновременным подъемом шнека и трубы. Заполняющий обсадную трубу разрыхляемый шнеком грунт выходит вдоль лопастей шнека вверх и удаляется при помощи очистителя. После заполнения обсадной трубы бетоном она извлекается, а в тело полученной сваи при помощи вибратора погружается арматурный каркас. Технология CSP позволяет создавать буросекущие сваи с гарантированным отклонением от вертикали до 1,0 %–1,5 %. С помощью имеющегося оборудования ОАО "Буровая компания "Дельта" может выполнять сваи диаметрами 660, 820 и 1020 мм длиной до 21,5 м. Большая несущая способность оснований у таких свай способствует сокращению их потребного количества и сроков выполнения работ.

БУРОВЫЕ СВАИ, ИЗГОТОВЛИВАЕМЫЕ БЕЗ ВЫЕМКИ ГРУНТА

Формирование скважин в пористых маловлажных лесовых грунтах за счет вытеснения грунта с помощью раскатчика было предложено в СССР В. И. Феклиным. Немецкая фирма Bauer в развитие данной технологии разработала комплект оборудования для раскатки и бетонирования скважин в слабых водонасыщенных грунтах.



Рис. 7. Буровая установка для выполнения свай по технологии CSP

При этом технология по системе "Бауэр" включает выполнение скважины для сваи без извлечения грунта за счет его уплотнения рабочим органом в виде конуса с винтовой лопастью на конце буровой трубы (рис. 8).

В процессе погружения рабочего органа грунт вытесняется в стороны и вокруг скважины образуется уплотненная зона, размер которой зависит от свойств грунта, конструкции рабочего органа и количества закаченного бетона.

При достижении рабочим органом проектной отметки производится подача бетонной смеси из бетононасоса под давлением, которое на выходе из трубы суммируется с весом бетонного столба. После этого производится вдавливание арматурного каркаса с помощью вибропогружателя.

За счет опрессовки грунта вокруг скважины по системе "Бауэр" несущая способность свай значительно увеличивается. По данным разработчика технологии, трение по боковой поверхности у таких свай примерно на 30 % больше, чем у буровых, а сопротивление сжатию под острием увеличивается на 50 %–70 %.

Итальянская фирма Soilmes изготовила для ОАО "Буровая компания "Дельта" комплект оборудования, который включает раскатчики диаметрами 450, 650, 800 мм (рис. 9), а на буровой машине SR-65 дополнительно имеются лебедка для задавливания и ауриггеры (рис. 10).

Сваи большой несущей способности можно выполнять при помощи струйной технологии (jet-grouting) также без выемки грунта при его размыве и перемешивании с нагнетаемым под большим напором цементным раствором. Частичная выемка грунта возникает лишь при проходке лидерной скважины буровой головкой на конце полой мониторинг-штанги с соплами внизу для закачки инъекционной смеси под давлением 40–60 МПа. Диаметр и форма создаваемых свай зависят от давления инъекции, объема закачиваемой смеси, скорости вращения и подъема монитора, которые автоматически контролируются бортовым компьютером. Ствол сваи с уширениями создают при закачке инъекционной смеси от забоя вверх после проходки лидерной скважины по мере подъема монитора, а армирование сваи производят сразу после создания цементно-грунтового ствола.

Работы по струйной технологии в Беларуси выполняют с использованием комплектов зарубежного оборудования две компании: ООО "Спецстройимпорт" и ОАО "Буровая компания "Дельта" (рис. 11, 12).

КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ИЗГОТОВЛЕНИЯ СВАЙ

В зависимости от используемого оборудования во время устройства буронабивных свай с применением полого бурового шнека могут измеряться и вычисляться следующие параметры: частота вращения шнека и создаваемый крутящий момент, скорости бурения, нагнетания бетонной смеси и извлечения шнека из грунта.

В настоящее время на стройплощадках во всем мире работа буровых установок контролируется с помощью автоматизированных систем. Методы автоматического контроля качества базируются на измерении объема и давления закачки цементного раствора (или бетонной смеси).



Рис. 8. Раскатчик скважин системы "Бауэр"

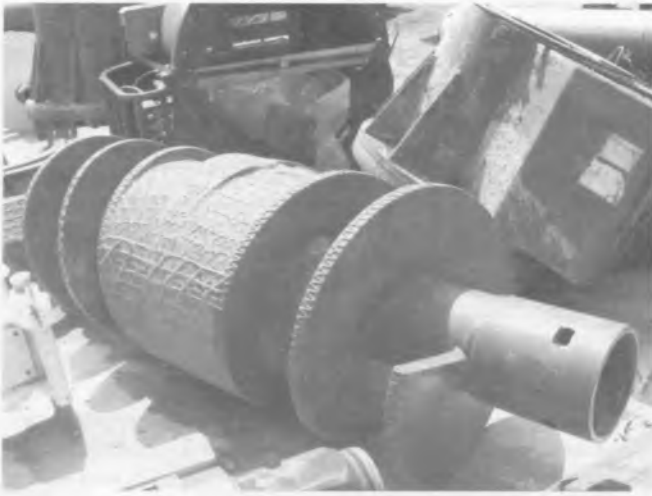


Рис. 9. Раскатчики фирмы Soilmes



Рис. 10. Аутригеры к буровой машине SR-65 фирмы Soilmes



Рис. 11. Сваи для концевой опоры канатного подъемника трассы сноуборда в Силичах, выполненные по струйной технологии (на заднем плане виден станок фирмы Kasagrande для выполнения свай)

Стандартные автоматизированные системы позволяют измерять следующие параметры: время, глубину и развиваемое в гидросистеме давление во время бурения; время, глубину, объем и давление закачки цементного раствора (или бетонной смеси) во время подачи в скважину. В процессе выполнения работ по устройству свай на экраны мониторов выводятся различные графики, отражающие состояние технологического процесса в режиме реального времени. Это позволяет в случае необходимости оперативно вносить корректирующие изменения. Сведения, получаемые в электронном виде, могут также храниться для дальнейшего использования, обработки и интерпретации (рис. 13).

Аналогичные системы автоматизированного контроля используются и при устройстве буронабивных свай с боковым вытеснением грунта. Они служат для постоянного контроля глубины проникновения бурового инструмента, вертикального усилия, крутящего момента, скорости проникновения и частоты вращения шнека/обсадной трубы. С помощью этих систем может определяться удельное потребление энергии с учетом упомянутых ранее переменных и других параметров для используемого оборудования. Полученные результаты при заданных глубинах бурения могут сопоставляться с результатами полевых испытаний и использоваться для наглядной оценки работ по устройству свай, а также для прогнозирования их несущей способности.

Хотя такие системы способны предоставлять ценную информацию о качестве свай, они не могут заменить высококвалифицированных специалистов. Помимо этого, нелишне обратить внимание на то, что все новые геотехнические технологии требуют тщательного их соблюдения. Каждая технология имеет свою рациональную



Рис. 12. Оборудование итальянской фирмы Soilmes для струйной технологии

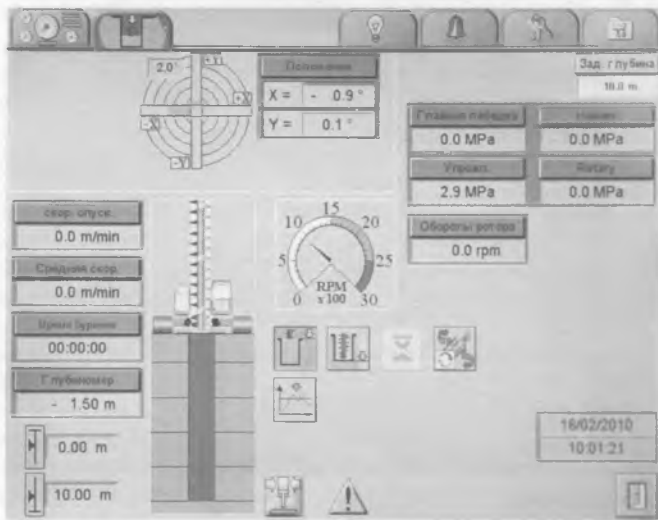


Рис. 13. Информация на экране монитора в автоматизированной системе качества изготовления свай

область использования, а на соответствующем оборудовании должны работать подготовленные кадры. В противном случае может произойти поломка дорогостоящего оборудования, а сама технология окажется неэффективной. Ярким примером этого может служить ситуация, сложившаяся в Беларуси с траншейным вариантом метода "стена в грунте". По причине несоблюдения технологических дисциплин и параметров используемой глинистой суспензии при отрывке траншей исходя из конкретных геологических и гидрогеологических условий, а также приемов подводного бетонирования стен данная прогрессивная технология была практически опорочена и перестала применяться. И это вопреки тому, что на начальном этапе ее применения, особенно в метростроении, белорусские строители занимали лидирующие позиции во всем бывшем Советском Союзе. Сейчас в республике в основном применяется менее эффективный (более трудоемкий и дорогостоящий), а порой даже и менее надежный (с позиций обеспечения устойчивости и водонепроницаемости ограждений глубоких котлованов) свайный вариант метода "стена в грунте", но без использования глинистой суспензии при бурении скважин.

Приходится с сожалением констатировать, что даже с применением новых геотехнических технологий в устройстве буронабивных свай возникает ряд неблагоприятных ситуаций, которые могут препятствовать дальнейшему прогрессу в строительной практике Беларуси. Тревожные факторы таковы:

— создание довольно большого числа специализированных подрядных организаций, преимущественно частных, можно было бы отнести к достоинству, как способ достижения лучших результатов при взаимном со-

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пособие П13-01 к СНБ 5.01.01-99: Проектирование и устройство буронабивных свай. — Минск: Минстройархитектуры, 2002. — 43 с.
2. Никитенко, М. И. Буроинъекционные анкеры и сваи при возведении и реконструкции зданий и сооружений / М. И. Никитенко. — Минск: БНТУ, 2007. — 580 с.
3. Пособие П18-04 к СНБ 5.01.01-99: Проектирование и устройство буроинъекционных анкеров и свай. — Минск: Минстройархитектуры, 2005. — 79 с.
4. Пособие П19-04 к СНБ 5.01.01-99: Проектирование и устройство фундаментов из свай с уплотненным основанием. — Минск: Минстройархитектуры, 2006. — 88 с.
5. ТКП 45-5.01-45-2006 (02250): Фундаменты и подземные сооружения, возводимые с использованием струйной технологии. Правила проектирования и устройства. — Минск: Минстройархитектуры, 2006. — 33 с.
6. Никитенко, М. И. Некоторые проблемы свайных фундаментов в геотехнической практике Беларуси / М. И. Никитенко, В. Ю. Журавский // Строительная наука и техника. — 2008. — № 4(19). — С. 44–51.
7. Пособие П2-2000 к СНБ 5.01.01-99: Проектирование забивных и набивных свай по результатам зондирования грунтов. — Минск: Минстройархитектуры, 2001. — 23 с.

Статья поступила в редакцию 15.09.2010.

ревновании. Однако отмечается лишь нездоровая конкуренция на получение более выгодных заказов;

— несовершенство тендерных торгов, поскольку их выигрывают по принципу дружеских отношений субподрядных организаций с генподрядными, либо фиктивного характера обязательств (без реального обеспечения необходимой техникой и квалифицированными кадрами) сократить сроки и стоимость выполнения свай, что не подкрепляется гарантией обеспечения их качества и эксплуатационной надежности;

— отсутствие обоснованных расценок на работы по выполнению свай с использованием новых геотехнических технологий и оборудования усложняет реальную оценку их технико-экономических показателей;

— недостаточное или полное отсутствие научного геотехнического обоснования применения в проектных решениях той или иной технологии устройства новых видов свай в разных инженерно-геологических условиях;

— низкая квалификация и текучесть работников специализированных субподрядных организаций, включая недостаточные профессиональные знания технического персонала и даже руководства, зачастую в сочетании с некомпетентностью в вопросах геотехники заказчиков и генподрядчиков.

НОРМАТИВНАЯ БАЗА ПО УСТРОЙСТВУ И ПРОЕКТИРОВАНИЮ БУРОНАБИВНЫХ СВАЙ

В Республике Беларусь существует нормативная база, достаточная для проектирования и применения буровых свай, выполняемых посредством вышеуказанных технологий, обеспечивающих опрессовку окружающего грунта за счет его вытеснения в стороны при раскатке или при закачке бетона под давлением. В частности в настоящее время на территории республики применительно к сваям с вытеснением грунта в стороны за счет раскатки справедливы предписания [1, 7], а для свай, выполняемых по технологии CFA, — еще и [4]. Планируется переработка этих документов в технические кодексы установившейся практики (ТКП) с целью гармонизации их с европейскими нормами. Применение струйной технологии подкреплено [1].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для более широкого внедрения передовых геотехнических технологий устройства свай с использованием нового производительного оборудования необходимы: геотехническое и экономическое обоснование их применения; разработка научно обоснованных расценок на такие работы, знакомство проектировщиков с возможностями специализированных подрядных организаций по освоению и совершенствованию данных технологий при научном сопровождении с учетом особенностей грунтовых условий застраиваемых площадок.