

ПРОБЛЕМЫ УСТРОЙСТВА СВАЙНЫХ ОСНОВАНИЙ В ГОРОДСКОЙ ЗАСТРОЙКЕ В УСЛОВИЯХ СЛАБЫХ ГРУНТОВ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА

С. Г. БОГОВ – ведущий специалист НПО «Геореконструкция-Фундамент-проект», г. Санкт-Петербург.

Рассматриваются вопросы применения буронабивных свай, устраиваемых под защитой обсадной трубы, по технологии проходного шнека (CFA), винтовых свай типа «Atlas» «Fundex», свай «DDM» а также свай, изготавливаемых по струйной технологии, в сложных инженерно-геологических условиях Санкт-Петербурга. Выполнена экспертная оценка появления наиболее вероятных дефектов при устройстве этих свай.

Последние годы в Санкт-Петербурге активно ведется работа по восстановлению исторического и формированию нового образа застройки исторического центра города. Согласно современным требованиям, специалисты, занимающиеся устройством свайных фундаментов в исторических частях города, должны учитывать, что работы ведутся вблизи памятников архитектуры, а также старых, иногда ветхих, жилых зданий, возведенных на ленточных бутовых фундаментах 100 и более лет назад.

Реконструкция исторического центра Санкт-Петербурга, включающая пристройку новых зданий к существующим в условиях слабых водонасыщенных пылевато-глинистых грунтов должна осуществляться индивидуально для каждого объекта. При разработке проектов новых зданий следует учитывать конструктивные особенности существующих зданий, инженерно-геологические и инженерно-гидрогеологические условия площадки строительства. Необходимо максимально обезопасить окружающую застройку от деформаций, связанных с новым строительством.

Использование безопасных для окружающей застройки принципов, технологий и методов производства работ приводит к удорожанию стоимости проекта, увеличению сроков производства работ (по сравнению со

строительством в относительно новых районах), однако только так можно осуществить бездефектное строительство в плотной исторической застройке.

При строительстве новых зданий в существующей застройке в последние годы чаще всего применяются свайные основания. Очевидными достоинствами последних являются: отсутствие необходимости откопки глубоких котлованов и траншей, высокая производительность, отсутствие явных негативных динамических воздействий на грунты основания и конструкции соседних зданий. Процесс устройства буронабивных свай в обводненных пылевато-глинистых грунтах в основном состоит из набора следующих операций: проходка скважины, крепление ее стенок, установка арматурного каркаса, укладка бетонной смеси.

С конца 70-х гг. XX в. в Санкт-Петербурге применяется технология погружения свай заводского изготовления вдавливающей установкой. Данная технология имеет невысокую производительность, погружение свай ограничено весом сваедавливающей установки, имеются данные об ухудшении свойств окружающих слабых грунтов на значительном расстоянии от места производства работ. Данная технология совершенствовалась, в том числе погружением свай в предварительно пробуренные лидерные скважины.

С середины 90-х гг. стали активно применять длинные буроинъекционные и бурона-

бивные сваи, первыми из них были сваи, изготавливаемые «под защитой тиксотропного раствора». Состав тиксотропного глинистого раствора должен обеспечивать адекватность и неизменность требуемых значений плотности, вязкости и водоотдачи. Одним из самых сложных элементов в этой технологии является удержание стенок буровых скважин от оплывания. Это требует от производителя работ четкой дисциплины и соблюдения технологических параметров глинистого раствора при устройстве каждой сваи. К сожалению, зачастую вместо нового глинистого раствора с заданными свойствами используется раствор, слитый в зумпф при устройстве предыдущей скважины. Большинство организаций не имеют своей лабораторной базы и опытных специалистов, способных поддерживать постоянное качество при устройстве свай по данной технологии.

К началу 90-х гг. относятся экспериментальные работы по устройству свай с помощью раскатки, когда из скважины малого диаметра стремились получить скважину для полноценной буронабивной сваи. Раскатка стенок буровых скважин в условиях водонасыщенных пылевато-глинистых грунтов в большинстве случаев получалась лишь в процессе эксперимента.

Более совершенной является технология устройства буронабивных свай под защитой инвентарных обсадных труб (рис. 1). Впервые оборудование и эта технология были применены при реконструкции гостиницы «Невский Палас» в историческом центре Санкт-Петербурга, позднее – при строительстве жилого здания на Малой Дворянской ул. при устройстве разделительной стенки в грунте. В обоих случаях соседние здания получили существенные деформации.

До этого времени делались попытки применения технологии проходного шнека в Санкт-Петербурге с использованием геологоразведочных буровых станков типа ПБУ-50 выпуска 1960–1980 гг. При устройстве свай этим методом использовались наборные проходные шнеки диаметром 0,35 м с длиной секции около 1,0 м. Это существенно удлиняло процессы устройства свай, а дефекты, присущие данной технологии в слабых грунтах, сохранялись.

Начиная с 2002 г. в арсенале производственных фирм Санкт-Петербурга появились техника и технология устройства винтовых свай типа «Atlas» и «Fundex».

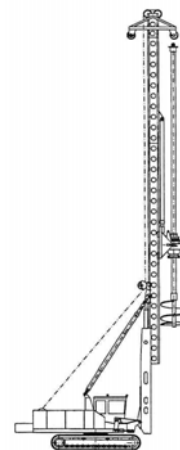


Рис. 1. Буровая установка для устройства свай под защитой инвентарных обсадных труб [1]

В 1997 г. при устройстве свайного основания транспортного комплекса у Московского вокзала впервые были применены сваи, выполняемые по технологии непрерывно перемещающегося проходного шнека (СФА).

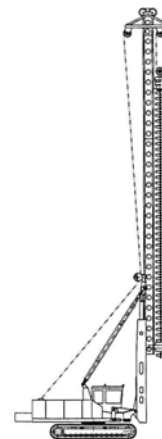


Рис. 2. Буровая установка для устройства свай (СФА) непрерывно перемещающимся проходным шнеком [1]

Деформации существующих зданий при возведении рядом зданий на сваях, имевшие место в последние годы, свидетельствуют, что, кроме наличия специальной техники, необходимо ее адекватное применение. Технические возможности имеющегося оборудо-

вания должны соответствовать поставленной задаче, также необходимы соблюдение технологического регламента и контроль качества выполняемых работ. Очевидно, любая самая современная техника должна пройти предварительную отработку режимов и адаптацию в инженерно-геологических условиях Санкт-Петербурга перед началом масштабных работ по устройству свай в непосредственной близости от существующих зданий. Рассматривая безопасность той или иной геотехнологии свайного фондирования, в качестве факторов риска нужно учитывать все технологические операции (см. таблицу), способные негативно повлиять на грунты основания и конструкции окружающей застройки, создавать вибрационные нагрузки; ухудшать свойства окружающих грунтов и нарушать устойчивость стенок скважин, а также сплошность, проектную длину и прочность ствола. Дефекты в стволе даже одной сваи в свайном поле, спроектированном без соответствующего «запаса», могут вызвать нарушение целостности конструкций всего здания или развитие конечных осадок, значи-

тельно превышающих проектные.

1. УСТРОЙСТВО БУРОНАБИВНЫХ СВАЙ ПОД ЗАЩИТОЙ ИНВЕНТАРНЫХ ОБСАДНЫХ ТРУБ В УСЛОВИЯХ СЛАБЫХ ГРУНТОВ

Процесс устройства свай под защитой обсадных труб включает следующие основные операции: установку рабочего органа буровой машины на ось скважины; погружение обсадных труб и разработку грунта внутри обсадных труб с их наращиванием; армирование и бетонирование скважины с постепенным извлечением обсадных труб (рис. 3).

Стандартный технологический процесс устройства свай начинается с опережающего бурения скважины обсадной трубой с армированным наконечником (кольцевой коронкой). Обсадная труба при этом погружается в грунт вращателем или трубовкручивающим столом реверсивным вращением на глубину 1,5... 2,0 м. Далее с помощью телескопической «келлештанги» и подвешенного на ней корот-

Экспертная оценка наиболее вероятных дефектов при устройстве свайных оснований

Технология устройства свай	Дефекты					
	А) Потеря устойчивости стенок скважин	Нарушения сплошности стволов свай («шейки», трещины, наплывы)	Наличие ила на забое скважины, грунтовой воды в трубах	Перемятие или расструктурирование (разуплотнение) грунтов в околосвайном пространстве	Недобуривание скважин до проектной глубины	Динамические воздействия на грунты и конструкции зданий
					А) с бортовым компьютером	
Под глинистым (буровым) раствором	А) +	+	+	-	А) -	-
	Б) -				Б) +	
Сваи вдавливания	-	-	-	+	А) -	+
					Б) -	
Сваи CFA	А) +	+	-	+	А) -	-
	Б) -				Б) +	
Под защитой обсадных труб	А) -	-	+	-	А) -	+
	Б) +				Б) +	
Сваи «Атлас», «Fundex»	А) -	-	-	+	А) -	-
	Б) -				Б) +	
Сваи «DDM»	А) -	-	+	-	А) -	+
	Б) +				Б) +	
Сваи jet-grouting	А) +	+	-	-	А) -	-
	Б) -				Б) +	

Условные обозначения:
- дефект маловероятен или невозможен; + дефект вероятен.

кого шнека обсадная труба очищается от грунта. При бурении в мягкопластичных грунтах допускается чистка труб ковшовым буром. Операции по бурению скважины и извлечению грунта повторяются через каждые 1,5...2,0 м погружения обсадных труб. После достижения скважиной проектной глубины производится зачистка забоя, уточняется ее реальная глубина, в скважину устанавливается и фиксируется арматурный каркас. Заполнение скважины бетоном производится через бетонолитную трубу, нижний конец которой должен не доходить до забоя на 0,15...0,2 м. Бетонная смесь бетононасосом или по лотку

автобетоновоза подается порциями по бетонолитной трубе в скважину. По мере бетонирования из скважины извлекаются обсадные трубы и секции бетонолитной трубы. При подъеме труб необходимо обеспечить погружение нижних концов обсадной и бетонолитной трубы в бетон на 1,0...1,5 м. После извлечения труб в скважину доливается бетон до проектной отметки, каркас должен фиксироваться от возможного погружения.

В условиях инженерно-геологических напластований Санкт-Петербурга, когда под слоем техногенных грунтов и водонасыщенных песков залегают слабые пылеватоглинистые

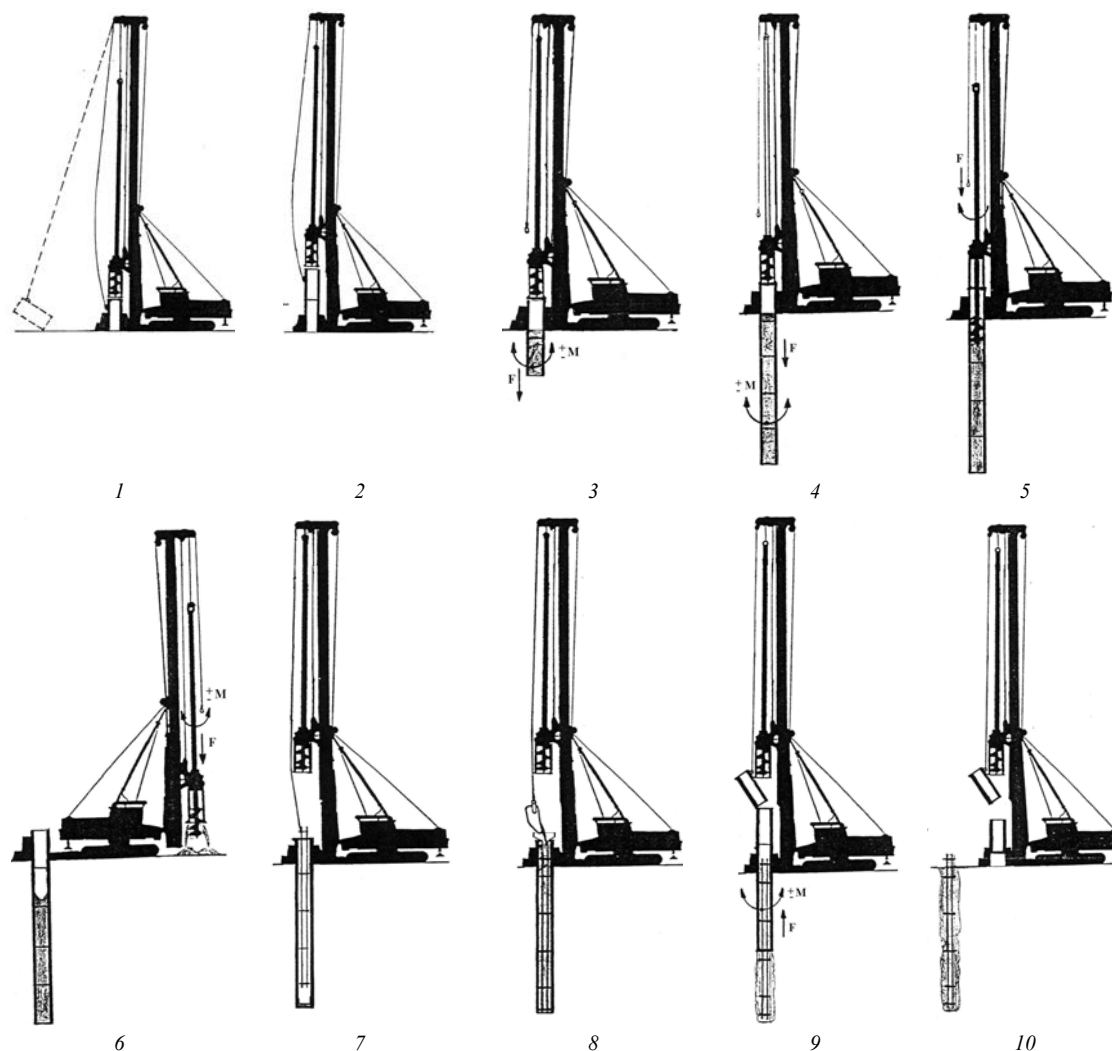


Рис. 3. Технологическая последовательность устройства буронабивных свай под защитой обсадных труб [1]:
 1 – установка первой секции труб на точку устройства свай; 2 – наращивание секций труб; 3 – погружение труб со знакопеременным вращением; 4 – наращивание и погружение труб до требуемой проектной отметки;
 5, 6 – извлечение грунта из труб; 7 – установка арматурного каркаса; 8 – установка бетонолитной трубы;
 9 – извлечение труб; 10 – готовая свая

грунты в текучепластичном состоянии, обсадные трубы должны погружаться с опережением разрабатываемого забоя. Таким образом, непременным условием безопасного ведения работ является обеспечение «грунтовой пробки», препятствующей попаданию в обсадную трубу пластичных грунтов в объемах, больших геометрического объема скважины.

При необходимости устройства свай диаметром 0,6...0,8 м, длиной 25...35 м при проходке моренных отложений буровая машина может испытывать значительные перегрузки, поэтому буровая техника должна подбираться на конкретный объект в зависимости от ее «паспортных данных»: максимального вращающего момента, вертикального усилия и т. д. В противном случае возникающие дополнительные негативные динамические нагрузки передаются на грунты основания и конструкции соседних зданий, а свая может оказаться короче проектной. Армирование свай должно выполняться в соответствии с проектом. Бетонирование тела свай в условиях водонасыщенных грунтов должно вестись с применением вертикально перемещающейся трубы (ВПТ). При бетонировании методом ВПТ используют литые бетонные смеси. Сверхнормативный перерыв при бетонировании ствола сваи, использование «жесткого» или «очень литого» бетона могут существенно ухудшить качество изготавливаемого свайного основания.

2. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ УСТРОЙСТВА БУРОНАБИВНЫХ СВАЙ ПО ТЕХНОЛОГИИ ПРОХОДНОГО ШНЕКА (СФА) В УСЛОВИЯХ СЛАБЫХ ГРУНТОВ

Стандартно работы по сооружению буронабивных свай выполняются в такой последовательности:

- подготовка рабочей площадки для маневра буровой установки и доставки бетона;
- геодезическая разбивка положения свай на стройплощадке;
- бурение скважины до проектной глубины проходной шнековой колонной;
- подъем шнека с выдвиганием бетонолитной трубы и подачей бетононасосом бетона в скважину;

- подъем шнековой колонны с доливкой бетона;
- погружение вибратором армокаркаса;
- бетонирование головы сваи (доливка бетона).

После достижения скважиной проектной глубины шнековая колонна приподнимается над забоем на 0,3...0,5 м и выдвигается бетонолитная труба. Литая бетонная смесь подается в скважину непосредственно через шнековую колонну. В процессе бетонирования шнековая колонна должна быть постоянно заполнена бетонной смесью. При подъеме шнековой колонны ее нижний конец должен быть заглублен в бетонную смесь не менее чем на 1 м.

В 1997 году при строительстве свайного основания под здание транспортно-коммерческого центра (ТКЦ) у Московского вокзала для устройства 26-метровых буронабивных свай использовался проходной шнек диаметром (\varnothing_0) 620 мм с внутренней трубой диаметром (\varnothing_1) 250 мм и тремя витками лопастей на 1 м длины. Эта технология, известная как СФА, была успешно использована во многих странах, однако положительный опыт ее применения в условиях Санкт-Петербурга фактически отсутствовал. Причиной возникновения деформаций и последующего сноса двух зданий на площадке строительства оказалась неизученность влияния устройства свай по технологии СФА.

Профессор Ван Импе [6] еще в 1992 г. обращал внимание на снижение сопротивления грунтов пенетрации после устройства буровых свай. Ван Импе приводит характерные результаты СРТ испытаний на площадке до устройства буровой сваи и после ее установки (рис. 4).

Как показали данные наблюдения стандартной процедуры устройства свай по данной технологии на площадке строительства (ТКЦ), при погружении шнека на поверхность извлекался грунт в объеме, в 1,5...2,5 раза превышающем проектный объем скважины. Вероятно, это обусловлено сложностью выбора оптимального шага лопастей шнека, который позволял бы проходить разнородные грунты: пески, слабые супеси, суглинки и прочные моренные отложения. Вероятно, в оптимальном режиме каждому повороту на 360° долж-

но соответствовать погружение шнека на один виток. Ван Импе в 1989 г. [6] отмечал, что минимально возможная скорость погружения шнека должна зависеть от скорости вращения и шага навивки лопастей на шнеке (рис. 5).

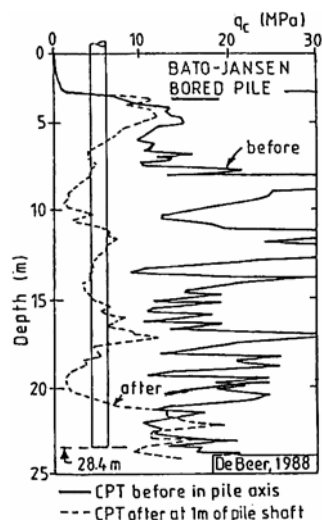


Рис. 4. Результаты СРТ испытаний до и после устройства буронабивной сваи [6]

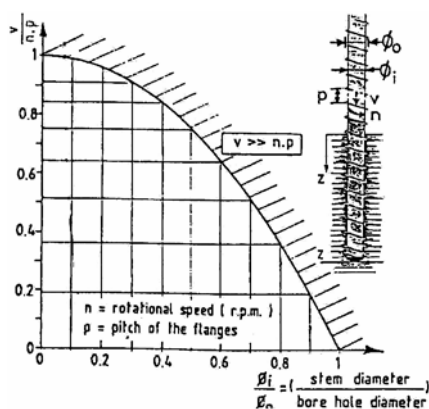


Рис. 5. Минимальная требуемая относительная скорость погружения шнека в грунт [6]

При бурении моренных грунтов скорость погружения шнека существенно снижалась, и режим проходки приближался к «вращению на месте», буровой шнек работал как «шнековый питатель» материалов. В результате по лопастям шнека происходил вынос на поверх-

ность избыточных объемов слабого грунта. Это могло стать реальной причиной возникновения в грунте растягивающих напряжений, приведших к расструктурированию слабых глинистых грунтов в околосвайном пространстве. Высокая начальная скорость бурения и заполнение скважин бетоном под давлением до 0,9 МПа препятствовали релаксации напряжений в массиве грунта. Изготовление каждой последующей сваи в кусте осуществлялось с увеличением времени на устройство последующих скважин с 20 мин до 1,5...2 ч. Пропорционально затраченному времени возрастал объем закачанного в скважину бетона. При теоретическом объеме скважины около 8 м³ (при диаметре сваи 0,62 м и длине 24 м) в первую скважину в кусте закачивали 10...12 м³ бетона, в последнюю – 20...26 м³ (в нескольких случаях в скважину было уложено 49 м³ бетона) [3].

На рис. 6 представлены данные по одной из СФА-свай (слева направо: давление подачи бетона, превышение фактически поданного объема бетона над теоретическим объемом, развиваемый при бурении вращающий момент, скорость проходки скважины).

Установленная на буровой машине система Enbesol позволила сохранить и анализировать данные бурения и бетонирования по каждой из почти 2000 изготовленных свай.

Для оценки влияния технологии на свойства грунтов основания на стройплощадке были проведены испытания грунтов. Ухудшение прочностных и деформационных свойств грунтов при устройстве СФА-свай было отмечено при анализе результатов статического зондирования (метод СРТ), проведенного до изготовления свай на площадке (в 1996 г.) (рис. 7) и после устройства каждой сваи в кусте (в 1998 г.). Обращает на себя внимание тот факт, что свойства не восстановились к 1999 г. Лобовое сопротивление зондированию (сопротивление конуса) в слабых грунтах после изготовления свай уменьшилось почти вдвое, в морене – на треть, практически исчезли значения, соответствующие поверхностным песчаным грунтам, существенно изменялась липкость глинистых грунтов.

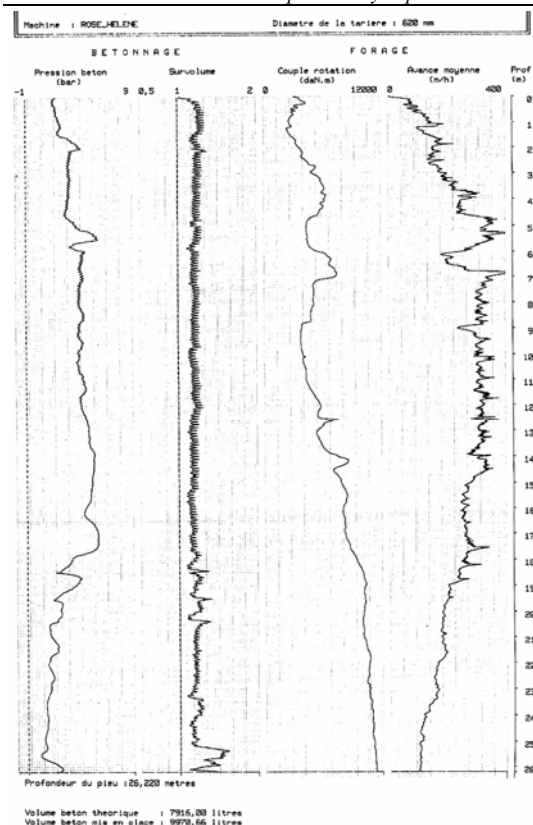


Рис. 6. Графическое представление результатов устройства свай по технологии CFA с помощью Enbesol – бортового компьютера, устанавливаемого на буровые машины Soletanche

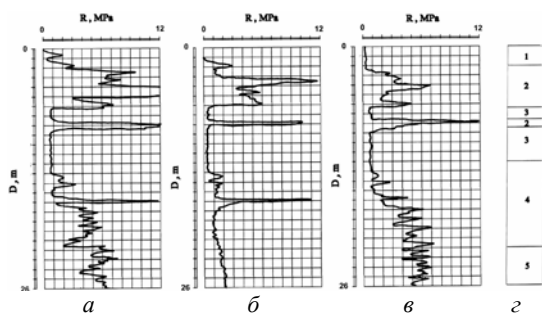


Рис. 7. Характерные результаты испытания по одной из 20 точек грунтов пенетрацией – СРТ на площадке строительства ВСМ [3]: а – до устройства свай (1996 г.); б – после устройства свай CFA (август 1998 г.); в – через 8 месяцев после устройства последней свай CFA (май 1999 г.); г – характерные напластования грунтов площадки; 1 – техногенные грунты; 2 – пески средней крупности; 3 – слабые пылевато-глинистые грунты; 4 – суглинки и супеси; 5 – моренные отложения

Проведенные исследования [3] показали, что для придания CFA-технологии статуса щадящей в грунтовых условиях центральной части Петербурга необходимо внести коррективы в стандартную технологию. При бурении требуется соотносить вращательное и поступательное движения шнека таким образом, чтобы повороту на 360° соответствовало погружение шнека на один виток; для проходки прочных моренных отложений – обеспечить создание достаточного крутящего момента, в противном случае требуется предусмотреть мероприятия по снижению сопротивления бурению; бетонировать стволы свай при минимально возможном избыточном давлении, обеспечивающем нормальную транспортировку бетона. Перечисленным требованиям до некоторой степени отвечают технологии устройства буронабивных свай типа «Atlas» и «Fundex».

3. УСТРОЙСТВО БУРОНАБИВНЫХ СВАЙ ПО ТЕХНОЛОГИЯМ «ATLAS» И «FUNDEX»

Основные принципы устройства свай «Atlas» и «Fundex» основаны на погружении в грунт путем ввинчивания до проектной глубины специальной буровой трубы с винтовым наконечником (рис. 8). Затем внутрь погруженной трубы устанавливают арматурный каркас. Бетонируют скважину с подъемом трубы обратным вращением, при этом тераемый башмак остается на забое скважины.

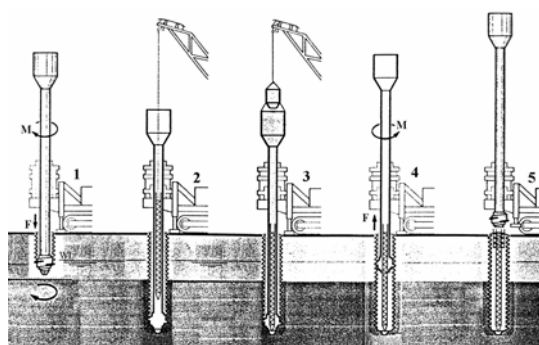


Рис. 8. Последовательность устройства свай «Atlas»: 1, 2 – погружение специальной стальной трубы в грунт ввинчиванием до проектной отметки; 3 – погружение арматурного каркаса внутрь трубы, бетонирование скважины; 4 – подъем труб с обратным вращением; 5 – погружение короткого внешнего каркаса

Бурение скважин диаметром 0,35...0,72 м производится без извлечения грунта. Существенным отличием устройства свай по этим технологиям является использование буровой трубы, набираемой из секций, в технологии «Atlas» и использование сплошной единой трубы в технологии «Fundex». Кроме того, винтовой наконечник на установке «Fundex» располагается на теряемом башмаке, а технология «Atlas» предполагает установку внутрь буровой трубы каркаса малого диаметра на всю длину сваи, а короткого внешнего каркаса большего диаметра – в бетон тела уже устроенной сваи. После бетонирования скважины в связных грунтах тело сваи должно иметь вид винта (рис. 9).

Однако при погружении трубы без извлечения грунта вокруг тела сваи создаются зоны переуплотнения околосвайного грунта.



Рис. 9. Вид откопанной сваи, выполненной по технологии «Atlas»

Как и при вдавливании свай, ближайшие зоны грунта вокруг свай «Atlas» представляют собой цилиндр переуплотненного грунта толщиной от 0,7 до 3 диаметров трубы. В зоне, равной 5...6 диаметрам ствола обсадной трубы, может сохраняться первоначальная структура грунта, однако могут появляться растягивающие и сдвигающие напряжения,

расструктурирующие слабые грунты, может несколько снижаться плотность и увеличиваться влажность грунта. При этом прочностные характеристики (c , φ) грунта в зоне вокруг сваи могут и не снизиться, а могут уменьшаться деформационные и фильтрационные показатели [4].

Следует отметить, что в отдельных сваях, выполненных в характерных для Санкт-Петербурга грунтовых условиях, после бетонирования ствола сваи из нее, как правило из центра, в течение 10...60 мин происходит истечение воды (цементного молока). В стволе образуется каверна, нарушающая сплошность изготовленной сваи, при этом в отсутствие известного напорного горизонта подземных вод сложно определить начало ее образования.

4. СВАИ DDM («DOUBLE DRILLING METHOD»)

Технология DDM (рис. 10), применяемая фирмой «Fundex» [2], в условиях слабых грунтов может оказаться более щадящей, чем перечисленные выше. В технологии DDM предусматривается первичное погружение обсадных труб до плотных грунтов основания, затем извлечение грунта из обсадных труб непрерывно перемещающимся шнеком. Бетонирование ствола сваи производится так же, как в технологии CFA.

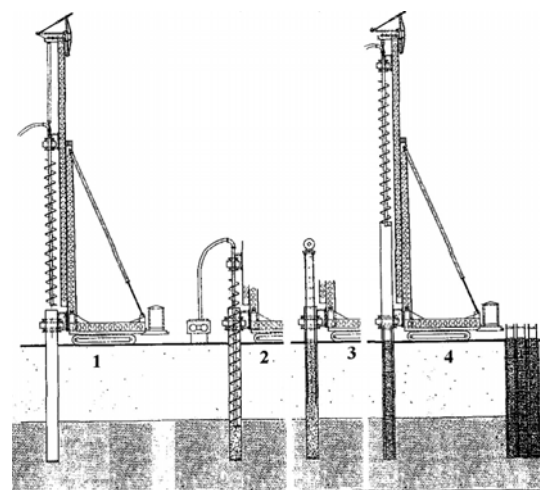


Рис. 10. Технология свай DDM «Fundex»: 1 – погружение обсадных труб через слои слабых грунтов до плотных грунтов основания; 2 – извлечение грунта из обсадных труб; 3, 4 – бетонирование ствола, извлечение обсадных труб

5. СВАИ ПО СТРУЙНОЙ ТЕХНОЛОГИИ

При строительстве новых зданий в условиях плотной городской застройки возникает необходимость устройства глубоких котлованов для размещения, как правило, подземных гаражей.

Откопка котлованов без их надежного ограждения в условиях пылеватых водонасыщенных грунтов, при высоком положении уровня подземных вод опасна для окружающих строений. Вариантом устройства ограждения котлованов может быть стенка из секущихся струйных свай. При работе в непосредственной близости от старых зданий, а также при использовании высоких давлений крайне важным фактором является надежность исполнения. Проблемы свай jet-grouting связаны с недопущением арматурного каркаса и занижением прочности материала свай относительно проектных значений, наличием «шеек» стволов.

Представляется, что качество может быть обеспечено только при автоматизированном контроле большинства выполняемых операций. Струйные установки, оборудованные бортовыми компьютерами, фиксируют и сохраняют данные по каждой выполняемой скважине. Компьютер фиксирует основные параметры: глубину бурения, время, скорость извлечения и вращения монитора, поинтервальные данные по расходам жидкости и воздуха (рис. 11) и т. д.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Деформации и подтопления подвалов зданий, в том числе памятников архитектуры, в Санкт-Петербурге в 1995–2003 гг. при сооружении пристраиваемых новых зданий на сваях, подтверждают, что безопасных технологий их устройства нет. Все внедряемые подрядчиками геотехнологии устройства свай в исторической части Санкт-Петербурга должны получить соответствующие «паспорта безопасности». Сертификат может быть подготовлен после рассмотрения комплекта документов:

об испытаниях грунтов (СРТ-тесты) до устройства пробных свай;

об испытаниях грунтов (СРТ-тесты) после устройства пробных свай на расстоянии 1,5...9 диаметров от свай;

о наличии стандарта предприятия и технологического регламента производства свайных работ в условиях слабых грунтов в исторической части города;

об обязательном наличии на буровых установках компьютерного оборудования, позволяющего регистрировать и сохранять технологические параметры по каждой выполняемой свае.

При проектировании встраиваемых зданий на свайных фундаментах необходимо проведение прогноза изменений: уровня и направлений потоков фильтрации подземных вод в зоне строительства и моделирования влияния на существующую застройку. Данное явление, отмеченное на вновь застраиваемых территориях [7], вероятно, справедливо и для уже застроенных территорий.

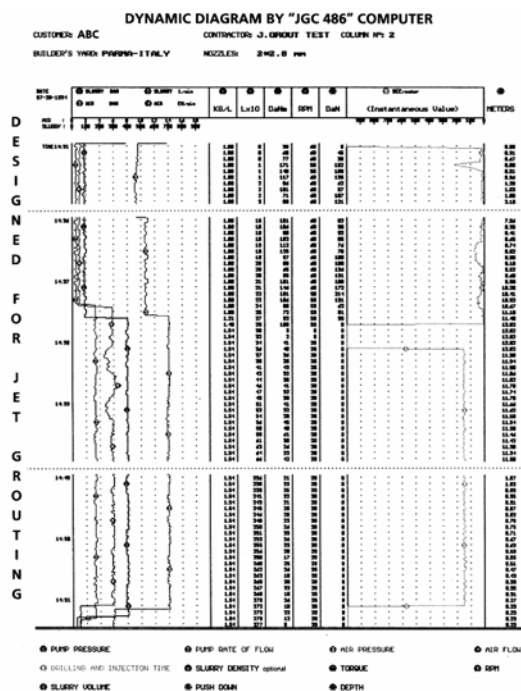


Рис. 11. Информация с бортового компьютера фирмы ССР. Графическое представление результатов устройства свай по струйной технологии [5]

Список литературы

1. *Рекламные материалы* фирмы «Юнттан».
2. *Рекламные материалы* фирмы «Франки».
3. Улицкий В. М., Шашкин А. Г. Геотехническое сопровождение реконструкции городов. М.: Изд-во АСВ, 1999.
4. Бройд И. И. Технологии создания искусственных оснований из слабых грунтов: Обзор / ВНИИИНТПИ. М., 1998.
5. *Рекламные материалы* фирмы «ССР International».
6. Van Impe. Deformations of Deep Foundations. General Report. X ECSMFЕ. Florence, 1991.
7. Резник Я. И. Анализ причин повышения уровня грунтовых вод на территории нового жилого района Одессы // Закрепление и уплотнение грунтов в строительстве. Киев: Будивильник, 1974. С. 74–75.