



УДК 624.15

СОВРЕМЕННЫЕ СПОСОБЫ БУРЕНИЯ СКВАЖИН, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ДЛЯ УСТРОЙСТВА БУРОВЫХ СВАЙ В УСЛОВИЯХ ПЛОТНОЙ ГОРОДСКОЙ ЗАСТРОЙКИ*

М.О. НЕПЛЕВСКИЙ

*ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе»
23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия
e-mail: neplevsky@mail.ru*

Рассмотрены параметры буровых скважин, в том числе глубина, диаметр, наклон, форма поперечного сечения, используемых в настоящее время для устройства буровых свай в условиях плотной городской застройки. Представлен обзор современных способов бурения скважин, используемых для устройства буровых свай. Предложена актуализированная классификация рассмотренных способов бурения скважин, учитывающая характер удаления разрушенной породы и движения бурового инструмента, тип применяемого бурового инструмента, а также способ крепления стенок скважины. Классификация по характеру удаления разрушенной породы выделяет способы, предусматривающие и не предусматривающие удаление разрушенной горной породы. По типу движения бурового инструмента выделяют вращательный, ударный и вибрационный способы, а также способ статического вдавливания. По типу применяемого бурового инструмента различают трубчатые оболочки с теряемым наконечником и уплотнителем грунта, шнеки транспортирующего и накопительного типов, ковшовые буры, колонковые трубы, специальные уширители, шарошечные, ударные и лопатные долота, рейферы. По способу крепления скважины существуют способы, предусматривающие и не предусматривающие крепление стенок скважины.

Ключевые слова: современные способы бурения скважин; буровые сваи; работы геотехнические специальные.

DOI:10.32454/0016-7762-2019-5-70-75

MODERN DRILLING TECHNOLOGIES USED FOR THE MAKING BORED PILES UNDER THE CONDITIONS OF DENSE URBAN AREA

M.O. NEPLEVSKY

*Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting
23, Miklouho-Maklay's street, Moscow 117997, Russia
e-mail: neplevsky@mail.ru*

The parameters of drilling boreholes (including depth, diameter, angle of borehole inclination, cross-section) that are currently used for the making bored piles under the conditions of dense urban area, have been considered. The review about modern technologies of drilling boreholes used for making bored piles has been prepared. The updated classification of drilling technologies used for the making bored piles, which taking into account the nature of the removal of the destroyed rock and the movement of the drilling tool, the type of drilling tool, as well as the method of mounting the borehole walls, has been proposed. The classification, according to the nature of removal of the destroyed rock, distinguishes technologies providing or not providing the removal of destroyed rock. According to the nature of movement of the drilling tool, the rotary, shock and vibration technologies, as well as a static indentation technology, can be identified. According to the type of drilling tools, the classification divides methods into hollow drill stem with sacrificial drill bit and soil compactor and displacement tools with a starter auger section, augers, drilling buckets, core barrels, belling buckets, roller, impact and three-way bits, grabs. According to the methods of well casing, the technologies can be divided into the ones, allowing and not allowing the casing of well.

Keywords: modern methods of drilling boreholes; bored piles; special geotechnic works.





В настоящее время в условиях плотной городской застройки постоянно снижается число территорий (площадок), доступных для промышленно-гражданского и транспортного строительства. В связи с этим наблюдается рост этажности зданий, а также увеличение темпов строительства многоуровневых транспортных развязок и тоннелей. Указанное обстоятельство влечёт за собой необходимость строительства свайных фундаментов повышенной несущей способности, выполненных из свай различных типов и сечений.

В современной практике для строительства фундаментов в основном применяются забивные и буровые сваи. Последние [1] являются одной из возможных альтернатив забивным сваям в случаях, когда строительство ведётся в условиях плотной городской застройки и требуется снизить риск возникновения негативных динамических воздействий на окружающие здания и сооружения. Кроме того, буровые сваи могут применяться в сложных горно-геологических условиях, например, при бурении в техногенных грунтах. Буровые сваи в соответствии с существующей терминологией относятся к так называемому типу свай, устраиваемых на месте, т. е. свай, изготавливаемых в условиях строительной площадки, в отличие от свай заводского изготовления (например, железобетонных забивных).

Технология устройства (изготовления) буровых свай предусматривает последовательное выполнение следующих операций: бурение скважины различными способами с креплением стенок скважины или без крепления, подготовка (зачистка) забоя скважины, замена бурового раствора (в случае его использования), установка армирующего элемента (стального профиля или каркаса из стальной или полимерной композитной арматуры), бетонирование скважины с одновременным извлечением (подъёмом) колонны инвентарных обсадных труб.

В современной практике скважины для устройства буровых свай могут иметь глубину от 10 до 100 м и диаметр от 400 до 4000 мм. Скважины в основном закладываются вертикальными, однако в определённых условиях, например, в случае залегания под строительной площадкой подземных сооружений, могут закладываться слабонаклонными. Поперечное сечение скважины (выработки) под буровые сваи может быть круглым, квадратным, прямоугольным, тавровым, а также L-образным [1]. Далее будут рассмотрены способы бурения скважин для устройства буровых свай только круглого сечения.

Предлагается актуализированная, относительно представленной в [2], классификация способов бурения скважин для устройства буровых свай, при-

меняемых при строительстве фундаментов зданий в условиях городской застройки (рисунок), учитывающая характер удаления разрушенной породы и движения бурового инструмента, тип применяемого бурового инструмента, а также способ крепления стенок скважины.

Способы бурения скважин для устройства буровых свай условно можно разделить на две основные группы: предусматривающие и не предусматривающие удаление разрушенной горной породы.

Бурение скважин с удалением разрушенной породы в настоящее время, реализуется за счёт применения вращательного, ударного и вибрационного способов, а также способа статического вдавливания. В практике современного строительства, наибольшее распространение получил *вращательный способ бурения* с применением в качестве бурового инструмента шнеков транспортирующего и накопительного (шнековых буров) типов, ковшовых буров и специальных колонковых труб, а также в определённых случаях с применением лопастных или шарошечных долот. Также активно применяется *способы статического вдавливания и ударный*. При этом в качестве бурового инструмента используется грейфер (механический канатный или гидравлический), долото или трубчатая оболочка. В некоторых случаях для бурения скважин возможно применение *вибрационного способа* с применением виброгрейфера или трубчатой оболочки. В случае применения рассмотренных выше способов бурения стенки скважины могут крепиться с помощью обсадных труб, а также буровых растворов, приготовленных на основе глинопорошков, полимеров или технической воды. В случае применения шнеков транспортирующего типа, крепление стенок скважины не требуется.

Бурение скважин без удаления разрушенной породы также реализуются за счёт использования вращательного способа, однако в данном случае в качестве бурового инструмента могут применяться: трубчатая оболочка с «теряемым» винтовым наконечником или трубчатая оболочка со специальным инструментом уплотнения, так называемым раскатчиком скважин. При бурении скважин без извлечения породы необходимость в креплении стенок скважины отсутствует.

Рассмотрим подробнее каждый из указанных выше способов.

Вращательный способ бурения с применением шнеков накопительного типа (шнековых буров) и ковшовых буров [1] (технология устройства буровых свай «Kelly») позволяет бурить скважины максимальной глубиной до 125 м и диаметрами от 600 до 4600 мм [3—8] в глинах, суглинках, супесях, песках, в том числе обводнённых, а также «слабых»



известняках. При бурении в обводнённых грунтах применяются ковшовые буры. При необходимости отбора образцов грунта применяются специальные колонковые трубы, которые также можно использовать при бурении твёрдых прослоек, валунов и бетонных массивов. Если конструкцией предусмотрены одно- или многоместные уширения ствола скважины [1], применяются специальные уширители (например, лопастного типа).

В качестве бурильных труб используются многосекционные телескопические бурильные трубы оригинальной конструкции (Kelly). Крутящий момент передаётся за счёт шлицевых соединений, расположенных на каждой из секций трубы. Осевая нагрузка на породоразрушающий инструмент осуществляется весом бурильной трубы и шнекового бура, также возможно увеличение осевой нагрузки за счёт системы подачи установки (гидравлической или канатной). В качестве породоразрушающего инструмента применяются пилотные долота со съёмными резцами из твёрдого сплава различной конфигурации, зависящей от твёрдости разбуриваемой породы.

Рассмотренный способ бурения скважин в сложившейся практике является наиболее универсальным, так как позволяет бурить породы различной твёрдости, в том числе, водонасыщенные и техногенные, а также позволяет вести одновременное крепление ствола скважины инвентарными извлекаемыми обсадными трубами или буровым раствором (глинистым или полимерным). Однако производительность работ по устройству буровой сваи с применением указанного способа относительно невелика и составляет для условного диаметра до 800 мм и длины до 20 м в среднем 1—2 сваи в сутки (включая бурение скважины, армирование и бетонирование сваи).

Вращательный способ с применением шнеков транспортирующего типа [1] (технология устройства буровых свай «НППШ» — «CFA (Continuous Flight Auger)») позволяет бурить скважины максимальной глубиной до 40 м и диаметрами от 500 до 1400 мм [3, 4, 6, 10, 12, 13] в глинах, суглинках, супесях, песках, в том числе обводнённых за исключением твёрдых прослоек и известняков. При реализации данного способа нагрузка на забой создается весом шнековой колонны и системой подачи буровой установки. В качестве породоразрушающего инструмента применяются пилотные долота со съёмными резцами из твёрдого сплава различной конфигурации, зависящей от твёрдости разбуриваемой породы.

Особенностью указанного способа является высокая механическая скорость бурения скважины, а следовательно, и высокая скорость сооружения

буровой сваи (до 5—7 скважин в сутки для условного диаметра до 800 мм и длины до 20 м), так как отсутствует необходимость в креплении стенок скважины. Однако имеются значительные ограничения по диаметру и глубине скважины, связанные со значительным ростом затрат мощности на вращение шнековой колонны, а также ограничения, вызванные значительными трудностями или невозможностью бурения прослоек твёрдых пород.

Буровые установки для вращательного способа бурения с применением шнекового инструмента скважин представляют собой самоходные агрегаты, смонтированные на гусеничном ходу, оснащённые дизельным приводом, кабиной, мачтой, вращателем и группой лебёдок: основной для подвеса бурильной трубы и вспомогательной для монтажа арматурного каркаса и обсадных труб. Вращатель, используемый на установках данного типа, обладает оригинальной конструкцией. По своему виду он является роторным, но при этом имеет возможность перемещаться по длине (высоте) мачты, в связи с чем, может быть отнесён также и к вращателям подвижного типа. Вращатель за счёт применения специального переходника позволяет вести попеременное бурение как бурильной трубой, так и инвентарными обсадными трубами, имеющими собственный породоразрушающий инструмент — коронку, армированную твёрдосплавными резцами. Максимальный момент, создаваемый на вращателе, может достигать величины 721 КНм [3, 4, 6, 10, 11, 12].

В современной практике в основном используются буровые установки следующих компаний производителей: Bauer Maschinen (Германия), Liebherr (Австрия), Casagrande и SoilMech (Италия), Sany (Китай), Junttan (Финляндия).

Вращательный способ бурения с применением лопатных или шарошечных долот в основном реализуется за счёт организации обратной промывки скважины, например, технической водой. В качестве бурильных труб используются специальные трубы с фланцевыми соединениями. Скважины при этом могут иметь максимальную глубину до 40 м и диаметр от 600 до 1500 мм. Однако в современной практике указанный способ широкого распространения не получил.

Ударный способ с применением грейферов и долот, а также способ статического вдавливания с применением грейферов позволяет бурить скважины максимальной глубиной до 100 м и диаметром от 880 до 3800 мм (в случае применения механических канатных грейферов) [11] и до 2000 мм (при применении гидравлических грейферов) [8] в глинах, суглинках, супесях, песках, в том числе обводнённых, а также известняках. При реа-



лизации ударного способа внедрение грейфера в породу осуществляется за счёт его сбрасывания с определённой высоты. Удаление породы из забоя производится за счёт закрывания (смыкания) челюстей грейфера, вызываемого натяжением каната (канатный грейфер). При реализации способа статического вдавливания внедрение грейфера в породу осуществляется под действием веса грейфера, закрывание челюстей — за счёт перемещения гидравлического поршня (гидравлический грейфер). Нижняя часть челюстей грейфера оснащена съёмными резаками из твёрдого сплава. В процессе бурения скважины указанными способами стенки скважины могут крепиться как инвентарными (извлекаемыми) обсадными трубами, так и буровым раствором на основе глинопоорошков или полимеров.

Рассмотренные способы также являются универсальными, поскольку позволяют бурить (проходить) породы различной твёрдости, в том числе водонасыщенные и техногенные, а также вести одновременное крепление ствола скважины инвентарными извлекаемыми обсадными трубами или буровым раствором.

Производительность работ по устройству буровой сваи с применением указанных способов может составлять для условного диаметра до 800 мм и длиной до 20 м в среднем одну скважину в сутки (включая бурение скважины, армирование и бетонирование сваи). Указанная производительность обусловлена более низкими значениями механической скорости бурения скважины по сравнению со шнековым способом, а также необходимостью использования дополнительного оборудования (механизмов) для погружения обсадных труб.

В современной практике использование способа статического вдавливания с использованием трубчатой оболочки встречается достаточно редко.

Для реализации ударного способа и способа статического вдавливания используются тяжёлые стреловые краны (например, производства компании Liebherr (Австрия), смонтированные на гусеничном ходу и оснащённые лебедками: основной для подвеса грейфера и вспомогательной — для монтажа арматурного каркаса и обсадных труб. Из-за отсутствия вращателя, погружение обсадных труб производится при помощи специальных механизмов (осцилляторов), позволяющих совмещать осевое перемещение трубы с одновременным её качанием. Одним из производителей указанных механизмов является компания Stahl- und Apparatebau Hans Leffer GmbH & Co. KG (Германия).

Вибрационный способ. Его использование с использованием виброгрейфера или трубчатой обо-

лочка в городской застройке может быть реализовано только при условии отсутствия негативного воздействия на рядом расположенные здания. В связи с этим, рассматриваемый способ имеет ограниченное использование.

Вращательный способ бурения скважин с использованием трубчатой оболочки с «теряемым» винтовым наконечником или трубчатой оболочки со специальным инструментом уплотнения (раскатчиком) (технология устройства буровых свай — «FDP» (Full Displacement Pile)) [5] позволяет бурить скважины максимальной глубиной до 50 м и диаметром от 600 до 900 мм (в случае применения трубчатой оболочки с винтовым наконечником) [9], максимальной глубиной до 30 м и диаметром от 500 до 710 мм (в случае применения «раскатчика») [7] в осадочных породах (грунтах), обладающих низкими прочностными и деформационными показателями (модуль деформации $E < 14-16$ МПа, сцепление < 12 КПа, угол внутреннего трения до $5-7^\circ$).

При реализации данного способа нагрузка на забой создаётся весом трубчатой оболочки и гидравлической системой подачи буровой установки. В качестве породоразрушающего инструмента используется винтовой наконечник и пилотное долото, оснащённое съёмными резаками из твёрдого сплава.

Указанный способ позволяет сооружать буровые сваи с высокой производительностью, сопоставимой с производительностью рассмотренной выше технологией «НПШ» — «СФА». При этом из технологического процесса исключаются операции, связанные с удалением и перемещением выбуренной породы.

Имеются также ограничения по диаметру и глубине скважины, определяемые мощностью и длиной мачты буровой установки, а также ограничения, вызванные невозможностью бурения неуплотняемых и твёрдых пород.

Для реализации способа бурения скважин с применением трубчатой оболочки со специальным инструментом уплотнения (раскатчиком), используются буровые установки, аналогичные применяемым для устройства буровых свай по технологии «Kelly» и «НПШ» — «СФА», например, производства компаний: Liebherr (Австрия), Bauer Maschinen (Германия), Casagrande (Италия), Sany (Китай), Junttan (Финляндия).

Отдельно необходимо отметить самоходные буровые установки оригинальной конструкции, предназначенные для бурения скважин с применением трубчатой оболочки с «теряемым» винтовым наконечником, производства компании IHC Fundex Equipment B.V.



ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ Р 58035-2017/EN 1536:2010+A1:2015 «Работы геотехнические специальные. Буровые сваи. Правила производства работ. (EN 1536:2010+A1:2015 Execution of special geotechnical work — Bored piles, IDT)». М.: Стандартинформ, 2018. 58 с.
2. Неплевский М.О. Способы сооружения скважин при создании фундаментов зданий и подземных сооружений // Известия высших учебных заведений: Геология и разведка. 2002. № 2. С. 151–153.
3. B400 XP2 HYDRAULIC PILING RIG. [Электронный ресурс] URL: <https://www.casagrandegroup.com> (дата обращения: 27.08.2019).
4. BG 72. Rotary Drilling Rig. [Электронный ресурс] URL: <https://www.bauer.de> (дата обращения: 27.08.2019).
5. DIN EN 12699-2015. Execution of special geotechnical works — Displacement piles; German version EN 12699:2015. 2015. p. 71.
6. Drilling Rig. LB44-510. Litronic®. [Электронный ресурс] <https://www.liebherr.com> (дата обращения — 27.08.2019).
7. FDP. Full Displacement Piling. [Электронный ресурс] URL: <https://www.bauer.de> (дата обращения — 31.08.2019).
8. HYDRAULIC SPHERICAL GRAB [Электронный ресурс] URL: <https://www.leffer.de> (дата обращения — 27.08.2019).
9. IHC FUNDEX F5600 Multifunctional foundation rig. [Электронный ресурс] URL: <https://www.ihcfundex.nl> (дата обращения — 27.08.2019).
10. JUNTAN Multipurpose Pile Rig MPx90. [Электронный ресурс] URL: <https://junttan.com> (дата обращения — 27.08.2019).
11. SPHERICAL GRAB for bored piles 880—3800 mm diameter. [Электронный ресурс] URL: <https://www.leffer.de> (дата обращения — 27.08.2019).
12. SR405R. C10 Series Rotary Drilling Rig. [Электронный ресурс] URL: <https://www.sanyglobal.com>. (дата обращения — 27.08.2019).
13. SR-145 HIT Hydraulic Rotary Rig. [Электронный ресурс] URL: <https://www.soilmec.com> (дата обращения — 27.08.2019).

REFERENCES

1. *GOST 58035-2017/EN 1536:2010+A1:2015. Special geotechnical works. Bored piles. Execution rules.* Moscow, Standartinform Publ., 2018, 58 p. (In Russian)
2. Neplevsky M.O. Designing wells in the construction of building basements and underground structures. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and exploration [Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedeniy. Geologiya i Razvedka]*, 2002, no. 2, pp. 151–153. (In Russian)
3. *B400 XP2 HYDRAULIC PILING RIG.* Available at: www.casagrandegroup.com (Accessed 27 August 2019).
4. *BG 72. Rotary Drilling Rig.* Available at: www.bauer.de (Accessed 27 August 2019).
5. *DIN EN 12699-2015. Execution of special geotechnical works — Displacement piles;* German version EN 12699, 2015, 2015, p. 71.
6. *Drilling Rig. LB44-510. Litronic®.* Available at: <https://www.liebherr.com> (Accessed 27 August 2019).
7. *FDP. Full Displacement Piling.* Available at: www.bauer.de (Accessed 27 August 2019).
8. *HYDRAULIC SPHERICAL GRAB.* Available at: www.leffer.de (Accessed 27 August 2019).
9. *IHC FUNDEX F5600. Multifunctional foundation rig.* Available at: www.ihcfundex.nl (Accessed 27 August 2019).
10. *JUNTAN Multipurpose Pile Rig MPx90.* Available at: junttan.com (Accessed 18 August 2019).
11. *SPHERICAL GRAB for bored piles 880-3800 mm diameter.* Available at: www.leffer.de (Accessed 27 August 2019).
12. *SR405R. C10 Series Rotary Drilling Rig.* Available at: www.sanyglobal.com. (Accessed 27 August 2019).
13. *SR-145 HIT Hydraulic Rotary Rig.* Available at: www.soilmec.com (Accessed 31 August 2019).