

УДК 624.151:624.151:624.155

**КРИТЕРИЙ ВЫБОРА ЭФФЕКТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ  
МОНОЛИТНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ СВАЙ В ПРОБУРЕННЫХ СКВАЖИНАХ***А. Н. Моторный, магистр, с. н. с., Н. А. Моторный, к. т. н., доц*

**Ключевые слова:** буронабивная свая, буроинъекционная свая, статические испытания свай, несущая способность свай, технология вертикального перемещения трубы, технология пустотелого шнека, эксплуатационная надежность, технологичность

**Введение.** В настоящее время, в стесненных условиях городской застройки, применение свайных фундаментов из забивных свай, создает проблемы обеспечения эксплуатационной надежности зданий и сооружений расположенных в зоне влияния строительной площадке при забивке свай.

Эти проблемы решаются путем применения свайных фундаментов изготавливаемых непосредственно на строительной площадке. В связи с передачей на грунтовый массив и на здания расположенные на этом массиве динамических воздействий при забивке свай, во избежание разрушительных деформаций зданий и сооружений при передаче на них динамических воздействий, вариант свайных фундаментов из забивных свай заменяют на монолитные железобетонные сваи изготовленные непосредственно на строительной площадке в пробуренных скважинах. Для изготовления таких свай применяют разные технологии.

Отдельные виды технологий изготовления набивных свай: виброштампованные сваи, сваи «Беното», частотрамбованные сваи, пневмонабивные сваи, сваи Франко и другие не могут конкурировать с забивными сваями так, как при их изготовлении так же требуется применение ударных технологий. Более приемлемы для стесненных условий городской застройки – монолитные железобетонные сваи изготовленные в пробуренных скважинах без применения ударных динамических нагрузок. К ним относятся, в зависимости от наличия у подрядчика оборудования.

1. Буронабивные монолитные железобетонные сваи изготавливаемые без применения глинистой суспензии в устойчивых глинистых грунтах, изготавливаемые по технологии вертикального перемещения трубы (ВПТ).

2. Буронабивные монолитные железобетонные сваи изготавливаемые с применением глинистого раствора в неустойчивых грунтах с использованием технологии вертикального перемещения трубы (ВПТ).

3. Буроинъекционные монолитные железобетонные сваи под глинистым раствором в неустойчивых грунтах с подачей раствора (мелкозернистого бетона) бетононасосом снизу вверх (БНВ)

4. Буроинъекционные монолитные железобетонные сваи в устойчивых и неустойчивых грунтах без применения глинистого раствора с использованием технологии «пустотелого шнека» (ТПШ).

**Целью** работы является выбор эффективных технологий по изготовлению монолитных железобетонных свай в пробуренных скважинах на основании выполненного:

1. анализа инженерно-геологических условий строительных площадок на которых использовались монолитные железобетонные сваи;

2. анализа материалов статических испытаний свай вертикальными вдавливающими нагрузками (согласно ДСТУ) изготовленных по указанным выше технологиям;

3. определения нормы времени (продолжительности изготовления 1 м<sup>3</sup> свай) изготавливаемых по указанным выше технологиям согласно ДБН Д.2.2.-5-99. Свайные работы.

4. хронометража времени на изготовление 1 м<sup>3</sup> монолитной железобетонной буроинъекционной сваи изготавливаемой по технологии «Пустотелого шнека» (ТПШ), выполненный на стройплощадках г. Днепропетровск.

Анализом инженерно-геологических условий строительных площадок, основанием фундаментов на которых использовались монолитные железобетонные сваи в пробуренных скважинах изготовленных по указанным выше технологиям, установлено, что строительные площадки в инженерно-геологическом отношении сложены лессовыми просадочными грунтами, проявляющими просадочные свойства при замачивании их водой как от нагрузок от собственного веса грунта и дополнительного давления от сооружения (второй тип грунтовых

условий по просадочности) и проявляющих просадочных свойств только от дополнительного давления (первый тип грунтовых условий по просадочности,  $S_{sl,a} = 0, 0 \leq S_{sl,a} \leq 5$  см).

Подстиляется лессовая просадочная толща в основном обводненными деградированными лессовыми грунтами расположенными на аллювиально-делювиальных отложениях средне и раннечетвертичного возраста. Мощность лессовой толщи колеблется от 15 ÷ 18 м до 27 ÷ 30 м. Мощность просадочной толщи колеблется от 10 до 16 ÷ 18 м. Лессовая толща подтоплена за счет инфильтрации утечек воды из водонесущих коммуникаций. Подземные воды, сформированные за счет инфильтрации утечек из водонесущих коммуникаций и атмосферных осадков не агрессивны к бетонам средней плотности по водопроницаемости  $W_4, W_6, W_8$ . К неблагоприятным инженерно-геологическим и гидрогеологическим условиям площадок следует отнести:

1. Проявление просадочных деформаций при замачивании просадочной толщи водой.
2. Подтопление территории за счет утечек воды из водонесущих коммуникаций.

Анализом материалов статических испытаний свай изготовленных по разным технологиям, выполненным лицензированной проектной организацией «Гидростройпроект» в разные периоды времени (2003 – 2010 гг.) установлено, что несущая способность  $F_d$  буронабивных монолитных железобетонных свай в пробуренных скважинах выполняемых по технологии вертикального перемещения трубы (ВПТ) и монолитных железобетонных буроинъекционных свай выполняемых по технологии (БНВ) по сравнению с буроинъекционными монолитными железобетонными сваями выполняемыми по технологии «Пустотелого шнека» (ТПШ) более чем в два раза ниже. Для подтверждения выше сказанного приведем результаты испытаний свай статической вдавливающей нагрузкой на строительных площадках Днепропетровска.

*Площадка № 1 по ул. Исполкомовской, № 22 – 24.* На этой площадке были изготовлены и испытаны статической вдавливающей нагрузкой, буронабивная свая № 84 в пробуренной скважине изготовленная НЦЦ «Протект» по технологии вертикального перемещения трубы (ВПТ) и буроинъекционная свая № 60 в пробуренной скважине по технологии «пустотного шнека» (ТПШ) изготовленная ООО «Гидроспецстроймонтаж». По данным испытаний – несущая способность свай соответственно равна: свая № 60 – изготовитель ООО «Гидроспецстроймонтаж»  $F_d = 201,9$  т; свая № 84 – изготовитель НЦЦ «Протект»  $F_d = 68,6$  т. Соотношение несущей способности испытанных свай составляет 3 : 1.

*Площадка № 2 по ул. Комсомольская, 48.* На данной площадке ЗАО «Рембуд» были изготовлены две буроинъекционные сваи в пробуренных скважинах диаметром  $D = 400$  мм, длиной  $L = 4,5$  м. По данным статических испытаний сваи осевой вдавливающей нагрузкой № И-1 и И-2, несущая способность свай составляла 28,6 тс. и 70 тс. На этой же площадке были изготовлены буроинъекционные сваи таких же параметров – изготовитель ООО «Гидроспецстроймонтаж» (свая № 7 и № 126). По данным статических испытаний указанных свай (№ 7 и № 126) несущая способность  $F_d$  и составляла соответственно (№ 7 –  $F_d = 100$  т, № 126 –  $F_d = 126$  т: отчет № 85.03 и № 91.0 исполнитель ООО «Гидростройпроект»). По данным статических испытаний свай одинаковых параметров но на отдельных площадках выполненных ООО «Гидростройпроект» изготовленных по технологии (ВПТ) – ЗАО «Рембуд», результаты испытаний повторяются, несущая способность сваи  $F_d$  колеблется  $30 \leq F_d \leq 60$  т; в зависимости от параметров свай, а для свай изготовленных ООО «Гидроспецстроймонтаж», по технологии ТПШ (технология «пустотелого шнека») несущая способность сваи  $F_d$  составляет  $100 \text{ т} \div 120 \text{ т} \leq F_d \leq 200 \div 220$  тс. Исследования по вопросу влияния технологии изготовления буроинъекционных свай на их несущую способность опубликованы авторами в сборнике № 20, Warsaw [4].

Таким образом выполненный анализ технологий изготовления монолитных железобетонных свай в пробуренных скважинах и их влияния на несущую способность свай установлено, что существующие технологии изготовления буронабивных монолитных железобетонных свай в пробуренных скважинах однозначно оказывают соответствующее влияние на формирование несущей способности сваи и показывают, что использование технологии изготовления буроинъекционных свай методом ТПШ (технология «пустотелого шнека») повышает несущую способность свай в 2,5 – 3 раза по сравнению с существующими и освоенными технологиями «вертикального перемещения трубы» (ВПТ) и подачи бетона бетононасосом от забоя скважины вверх с выдавливанием глинистого раствора (БНВ). Применение технологии «пустотелого шнека», судя по результатам испытаний свай статической осевой вдавливающей нагрузкой, приводит к значительному уменьшению

материалоемкости свайных фундаментов исходя из показателя расхода бетона на 1 т несущей способности свай, что следует взять за основу при выборе технологии изготовления монолитных железобетонных свай в пробуренных скважинах.

Анализ материалов по определению продолжительности изготовления  $1 \text{ м}^3$  конструктивного объема монолитных железобетонных свай в пробуренных скважинах выполняемых по предложенным технологиям – ВПТ, БНВ, ТПШ, показал: за основу по определению нормы времени на изготовление  $1 \text{ м}^3$  конструктивного объема монолитной железобетонной сваи в пробуренных скважинах принят ДБН Д.2.2.-5-99 (с изменениями и дополнениями).

Согласно ДБН Д.2.2.-5-99 (таблица 56, группа 29) для изготовления  $1 \text{ м}^3$  конструктивного объема свай требуется  $\approx 2,7$  чел/час. Для изготовления  $1 \text{ м}^3$  сваи длиной 11 м, диаметром 500 мм, объемом  $V = 2,16 \text{ м}^3$ , затрачивается  $2,7 \times 2,16 = 5,8$  часа, а за смену может быть изготовлено не более чем две сваи.

Согласно ДБН Д.2.2.-5-99 (таблица 70, группа 41) устройство буронабивных монолитных железобетонных свай в пробуренных скважинах диаметром  $500 < \varnothing \leq 600$  мм в неустойчивых грунтах под глинистым раствором в грунтах 2 группы при составе работ: 1. устройство лотков пульпоотводящей системы; 2. установка, снятие и перестановка скважного бурового оборудования; 3. приготовление глинистого раствора; 4. бурение скважин; 5. монтажа арматурных каркасов; 6. укладка бетона и уход за ним; 7. подрубка и оформление головы сваи; 8. очистка циркулярной системы.

Согласно таблице 70.5.41:1 на изготовление  $1 \text{ м}^3$  конструктивного объема сваи в пробуренных скважинах затрачивается  $T' = 6,15$  часа. Для изготовления одной сваи в пробуренной скважине под глинистым раствором затрачивается  $T' = 6,15 \times 2,16 = 13,3$  часа. За смену, согласно ДБН Д.2.2.-5-99 можно изготовить 0,6 сваи, т. е. не более одной сваи в смену.

В связи с тем, что в настоящее время нормативных документов на определение затрат времени для изготовления  $1 \text{ м}^3$  конструктивного объема монолитной железобетонной буроинъекционной сваи в пробуренной скважине изготавливаемой по технологии «пустотелого шнека» (ТПШ) не имеется, то в июле 2004 г на площадке строительства жилищно-офисного комплекса по ул. Гусенко в г. Днепропетровск ООО «Гидроспецстроймонтаж» в процессе изготовления опытных монолитных железобетонных буроинъекционных свай в пробуренных скважинах по технологии «пустотелого шнека» (ТПШ) был выполнен хронометраж времени на изготовление  $1 \text{ м}^3$  конструктивного объема буроинъекционной сваи диаметром 500 мм, длиной  $l = 11$  м, объем  $V = 2,16 \text{ м}^3$ . В хронометраж вошли следующие виды работ: 1. Установка емкости для бетона; 2. Установка бетононасоса; 3. Заполнение емкости бетоном из миксера; 4. Наполнение полости шнека бетононасосом. 5. Бурение скважин диаметром 500 мм, заполненным бетонной смесью шнеком. 6. Укладка бетона в скважину путем реверсного подъема шнека с одновременным поддержанием постоянного уровня бетона в полости шнека. 7. Монтаж арматурного каркаса сваи, оформление головы сваи.

В процессе замера времени выполнения отдельных видов работ с учетом их параллельного выполнения получены следующие результаты:

- установка емкости для бетонной смеси	3 мин = 0,05 часа
- наполнение емкости бетоном из миксера и поддержание объема	3 мин = 0,05 часа
- наполнение полости шнека бетоном бетононасосом с поддержанием постоянного уровня бетона в шнеке	3 мин = 0,05 часа
- бурение скважин шнеком с бетонной смесью	6 мин = 0,10 часа
- укладка бетона в скважину реверсным подъемом шнека и поддержанием уровня бетона в полости	3 мин = 0,05 часа
- монтаж арматурного каркаса и оформление головы сваи	3 мин = 0,05 часа
- технологические потери времени	9 мин = 0,15 часа
Всего	30 мин = 0,50 часа

На изготовление одной сваи диаметром 500 мм, длиной 11 м, объемом  $2,16 \text{ м}^3$ , с учетом технологических потерь времени, затрачивается  $t = 30 \cdot 2,16 = 65$  мин = 1,08 часа, что позволяет изготовить восемь свай в смену.

Составляя результаты анализа, представленных материалов по данным статических испытаний свай и по определению затрат времени на изготовление этих свай или определению нормы времени на единицу продукции, следует отметить, что изготовление монолитных

железобетонных буронабивных свай в пробуренных скважинах с использованием технологии «пустотелого шнека» имеет значительные преимущества заключающиеся в следующем:

*По технологии изготовления.* Изготовление монолитных железобетонных буронабивных свай в пробуренных скважинах не требует:

1. Применения глинистой суспензии для обеспечения устойчивости стенок скважин, стенки скважин удерживаются конструкцией шнека.

2. Отсутствие глинистого раствора избавляет подрядчика от весьма трудоёмких работ по приготовлению раствора, его эксплуатации, и затрат времени, которые составляют не менее 40 % всего времени на изготовление свай.

3. Не требуется монтаж, демонтаж и эксплуатация бетонолитной трубы с бункером, что опять таки снижает нормы времени на изготовление 1 м<sup>3</sup> конструктивного объема свай, и соответственно трудоемкость технологического процесса на изготовление 1 м<sup>3</sup> свай.

4. Не требуется нагромождения вспомогательного оборудования, что значительно улучшает мобильность и манёвренность механизмов при изготовлении свай, при этом затраты времени на изготовление 1 м<sup>3</sup> конструктивного объема сваи значительно снижается.

*По конструктивным особенностям.* 1. Бетон укладывается в скважину с естественными характеристиками грунта, без дополнительного увлажнения грунта стенок скважин, что значительно увеличивает сопротивление трению грунта на боковую поверхность сваи и соответственно увеличивает несущую способность сваи  $F_d$ .

2. Отсутствие «шлама» в забое скважины, за счет чего увеличивается несущая способность сваи ( $F_o$ ) по нижнему концу.

3. В процессе бетонирования монолитной железобетонной буронабивной или буронабивной сваи с использованием технологии ВПТ, за счет разности удельного веса бетона и грунта формируется конусный (конусность  $i < 0,025$ ) ствол сваи с большим диаметром конуса (основания) в забое скважины, что значительно ухудшает работу сваи в просадочных грунтах: кроме сил отрицательного трения  $P_n$ , свая дополнительно пригружается усилием  $P' = P_n \cdot tg \alpha$  ( $\alpha$  – конусность ствола сваи), что значительно снижает несущую способность сваи  $F_d$ .

4. Применение технологии «пустотелого шнека» (ТПШ), за счет разности удельного веса грунта и бетона формируется конусность ствола сваи с большим диаметром в устье скважины (ствола) и меньшим диаметром в забое скважины. Поэтому на ствол сваи не передаются силы отрицательного трения  $P_n$  при просадке просадочной толщи (для второго типа грунтовых условий по просадочности). При этом значительно увеличивается несущая способность  $F_d$  сваи. Поэтому, как показали анализы статических испытаний свай (согласно действующим ДСТУ и ДБН), изготовленных по разным технологиям (ВПТ, БНВ, ТПШ) несущая способность буронабивных свай  $F_d$  изготавливаемых по технологии «пустотелого шнека» (согласно действующим ДСТУ и ДБН) в 2,5 – 3 раза превышает несущую способность  $F_d$  свай изготавливаемых по технологии ВПТ и БНВ. При этом сокращается расход материала (бетон, арматура) соответственно в 2,5 – 3 раза, сокращаются сроки производства изготовления свай, а в целом и стоимость одной тонны несущей способности сваи, что в свою очередь приводит к снижению стоимости работ нулевого цикла с улучшением эксплуатационной надежности зданий и сооружений.

**Вывод.** Анализ рабочих материалов по технологии изготовления буронабивных, буронабивных свай по существующим и освоенным подрядными организациями технологиями (ВПТ, БНВ) соответственно материалов по статическим испытаниям свай изготовленных по указанным технологиям (ВПТ, БНВ, ТПШ) показал, что основным критерием при выборе эффективных технологий изготовления монолитных железобетонных (буронабивных и буронабивных в пробуренных скважин) свай следует принимать: несущую способность свай  $F_d$  по данным статических испытаний; продолжительность изготовления 1 м<sup>3</sup> конструктивного объема сваи; технологичность производственных процессов.

## ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. ДБН Д 2.2.-5-99. Свайные работы. Опускные колодцы. Закрепление грунтов / Государственный комитет строительства, архитектуры и жилищной политики Украины

(Госстрой Украины). – К., 2000. – 65 с.

2. ДСТУ БВ.2.1-27:2010. Палі. Визначення несучої здатності за результатами польових випробувань. – К. : Мінрегіонбуд України, 2011. – 14 с.

3. Герсеванов Н. М. Определение сопротивления свай. НКТП СССР. – М.–Л. : Госстройиздат, 1932. – 86 с.

4. Моторный Н., Моторный А., Рубанский В. Влияние технологии изготовления буроналивных свай на их несущую способность / Зб. наук. пр. «Теоретичні основи будівництва». – Warsaw, september 2012. – Vol. 20. – С. 458 – 466.

5. Моторный Н., Моторный А. Обоснование работы свай в грунте и формирование несущей способности свай в процессе ее погружения и эксплуатации / Зб. наук. пр. «Теоретичні основи будівництва». – Warsaw, maj 2013. – Vol. 21. – С. 501 – 508.

6. Косолапов В. Г. Свайные работы учебник для подгот. рабочих на производстве / В. Г. Косолапов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Высш. школа, 1974. – 256 с.

7. Костерин Э. В. Основания и фундаменты. Учебник для автомобильно-дорожных вузов / Изд. 2-е, перераб. и доп. – М. : Высш. школа, 1978. – 375 с.

8. Смородинов М. И. Свайные работы. Справочник строителя. – М. : Стройиздат, 1988. – 223 с.

## SUMMARY

The problems of selection of efficient technologies for the production of monolithic reinforced concrete piles in drilled wells. Analysis of materials static testing of monolithic reinforced concrete piles in drilled wells performed on technologies: the vertical movement of the pipe (VMP), the technology of concrete supply downhole concrete pump from the bottom up (CSD), on a «hollow auger» (HA) is complete. Specifies the load-bearing capacity of piles of the same parameters and the same engineering-geological conditions in drilled wells made by VMP, CSD, HA. The bearing capacity of piles depends on the technology used for their manufacture. The bearing capacity of piles made by HA 2.5 – 3 times higher than the VMP and CSD piles.

The analysis of the duration of manufacture 1 cubic meter volume of piles made by technology VMP, CSD, HA.

HA piles are made four times faster than VMP and CSD. Conclusion: The selection criterion of effective manufacturing technology of monolithic reinforced concrete piles in drilled wells is: bearing capacity, construction time, manufacturability works.

## REFERENCES

1. DBN D 2.2.-5-99. Svajnye raboty. Opuskyne kolodcy. Zakrepelnie gruntov / Gosudarstvennyj komitet stroitel'stva, arhitektury i zhilishhnoj politiki Ukrainy (Gosstroj Ukrainy). – К., 2000. – 65 с.

2. DSTU BV.2.1-27:2010. Pali. Vznachennja nesuchoї zdatnosti za rezul'tatami pol'ovih viprobuvan'. – К. : Minregionbud Ukraїni, 2011. – 14 s.

3. Gersevanov N. M. Opredelenie soprotivlenija svaj. NKTP SSSR. – М.–L. : Gosstrojizdat, 1932. – 86 s.

4. Motornyj N., Motornyj A., Rubanskij V. Vlijanie tehnologii izgotovlenija buroinekcionnyh svaj na ih nesushhuju sposobnost' / Zb. nauk. pr. «Teoretichni osnovi budivnictva». – Warsaw, september 2012. – Vol. 20. – С. 458 – 466.

5. Motornyj N., Motornyj A. Obosnovanie raboty svaj v grunte i formirovanie nesushhej sposobnosti svaj v processe ee pogruzhenija i jekspluatacii / Zb. nauk. pr. «Teoretichni osnovi budivnictva». – Warsaw, maj 2013. – Vol. 21. – С. 501 – 508.

6. Kosolapov V. G. Svajnye raboty uchebnik dlja podgot. rabochih na proizvodstve / V. G. Kosolapov. – 2-е изд., pererab. i dop. – М. : Vyssh. shkola, 1974. – 256 с.

7. Kosterin Je. V. Osnovaniya i fundamenty. Uchebnik dlja avtomobil'no-dorozhnyh vuzov / Izd. 2-е, pererab. i dop. – М. : Vyssh. shkola, 1978. – 375 с.

8. Smorodinov M. I. Svajnye raboty. Spravochnik stroitelja. – М. : Strojizdat, 1988. – 223 с.