

## **ПРОКОЛОНАБИВНЫЕ СВАИ И МЕТОД ИХ ВОЗВЕДЕНИЯ МОБИЛЬНОЙ УСТАНОВКОЙ**

Запара В.Н.  
г. Сумы, Украина

**АННОТАЦИЯ:** Описано палі з розширеною п'ятою, розмірів, що контролюються, незалежно від стану шарів ґрунту, що розташовані вище несучого шару.

**АННОТАЦИЯ:** Описаны сваи с уширенной пятой, контролируемых размеров, независимо от состояния слоев грунта расположенных выше несущего слоя.

**ABSTRACT:** The piles with enlarged base, size-controlled, regardless of the condition of soil layers over the base layer are described in paper.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** проколонабивные сваи с пятой в оболочке.

### **ВВЕДЕНИЕ**

Традиционные технологии в свайном фундаментастроении обладают недостатками, которые существенно влияют на стоимость строительства. Каждая из действующих технологий зависит от гидрогеологических условий, или условий организации строительства, места строительства и прочее, где ее применение может выглядеть эффективнее других. Однако каждая обладает общими недостатками: низкой эффективностью, громоздкостью и энергоемкостью оборудования.

Недостаток основных действующих технологий:

- буронабивные сваи [1] с уширенной пятой не могут быть применимы в неустойчивых и обводненных грунтах и не могут быть заключены в оболочку из уплотненного грунта;
- сваи вдавливания [2] не могут иметь уширенную пяту, а их вдавливание сопряжено с усилием, близким к их несущей способности;
- сваи в пробитых щелях [3] ограничены в применении грунтовыми условиями, динамичностью воздействия и сложностью контроля несущей способности.

Задача исследования - определение эффективности технологии возведения проколанабивных свай относительно действующих аналогов.

## КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ВОЗВЕДЕНИЯ ПРОКОЛОНАБИВНЫХ СВАЙ

Машиной для сооружения свай [4] осуществляют прокол щели для ствола сваи, образование уширенной пяты путем подачи и прокола порций бетонной смеси в забое щели, установку арматурного каркаса и извлечение звеньев обсадной трубы после бетонирования ствола сваи.

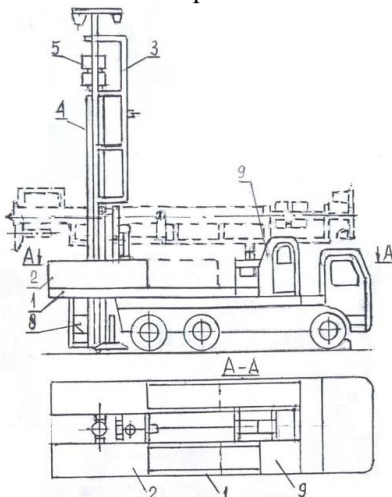


Рис. 1. Установка для сооружения проколанабивных свай

1	Станина		
2	Противовес (2 шт)	кН	50
3	Напряжной каркас: длина	мм	8690
4	Обсадная труба двухзвеньевая, диаметр	мм	330
5	Привод гидромеханический:		
	- потребляемая мощность	кВт	4
	- усилие гидроцилиндра	кН	260
	- ход толкателя	мм	300
	- гидросоединители	шт	8
6	Лидерная секция, сечение	см <sup>2</sup>	327
7	Расширительная секция, сечение	см <sup>2</sup>	437
8	Загрузочная емкость	л	18
9	Пультовая кабина управления		
	Электротельфер Forte:		
	- общее количество	шт	6
	- общая потребляемая мощность	кВт	1,45

Звенья (открытое и сплошное) обсадной трубы 4 взаимопере-  
мещаемые в осевом направлении при взаимодействии выступами с  
ветвями прямого каркаса, для исключения негативного влияния  
эффекта схватывания бетонной смеси с цилиндрической оболочкой  
(сплошной) при ее извлечении. Гидросоединителями, с пружинным  
возвратом, корпус гидропривода связывается с прямым каркасом и  
звеньями обсадной трубы 4, а толкатель привода 5 связывается со  
звеньями обсадной трубы 4, расширительной секцией 7, корпусом и осевой  
штангой лидерной секции 6.

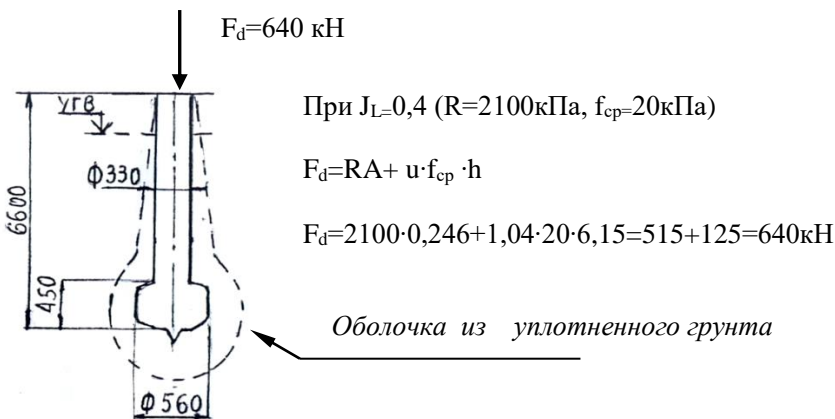


Рис. 2. Свая проколонабивная

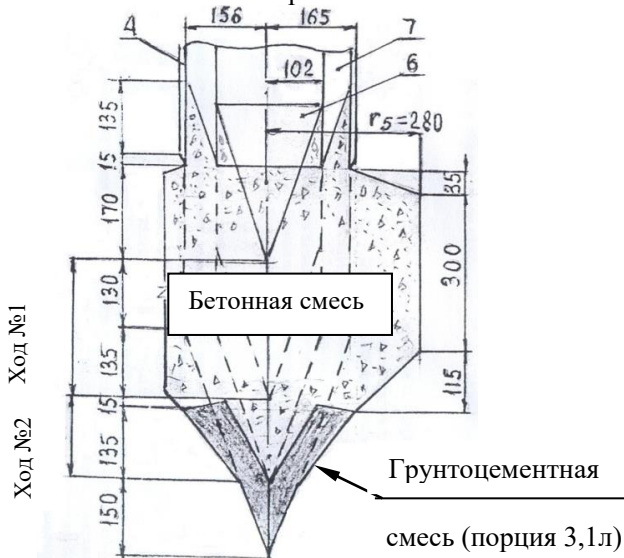


Рис. 3. Уширенная пята

Напрямной каркас 3 фиксируют в отвесном положении к станине 1 винтовым и фиксаторами, а станину 1 фиксируют относительно земной поверхности аутригерами. После этого, противовесы 2 сдвигают до расположения их центров тяжести в плоскости оси прямого каркаса 3 (рис. 1).

Щель для ствола сваи прокалывают циклическим выдвигением секций (6 и 7) и обсадной трубы 4 сначала совместно, для обеспечения их устойчивого положения в грунте, а затем переходят на их отдельное последовательное выдвигение в цикле. Прокол осуществляют на нужную глубину, по шкале заглубления или, до нужного усилия прокола, по прибору на пульте управления, работающему от датчика давления в гидросистеме.

Привод приводят в действие кнопками автоматического управления с пультовой кабины 9.

Уширенную пяту (рис. 3) образуют путем прокола порций бетонной смеси лидерной секцией 6, несущей порцию бетонной смеси, которая выгружается путем раскрытия секторов наконечника, при извлечении за счет переключения связи толкателя с осевой штангой лидерной секции на связь с ее корпусом, что прерывает удержание секторов выступами на наконечнику осевой штанги. В состав реактивного усилия проколу добавляется и усилие сопротивления грунта по боковой поверхности обсадной трубы 4. Загрузку порций бетонной смеси производят через открывные окна в открывном звене обсадной трубы 4, используя загрузочную емкость 8, перемещаемую трособлочной системой. Складывание секторов наконечника производят через их взаимодействие с вогнутой усеченной конической поверхностью на каретке, которая выдвигаемая из прямого каркаса 3.

Перед бетонированием ствола сваи, привод и секции трособлично перемещают в крайнее верхнее положение и отводят за пределы осевого расположения, а в обсадную трубу 4 трособлично вставляют арматурный каркас. Бетонирование производят через открывное звено, используя бетононасос, например.

Извлечение звеньев обратным ходом гидроцилиндра производят в два приема: сначала отдельно, на заданное количество циклов, обеспечивающее вставление секций, затем извлекают совместно полностью.

На приведенный вариант разрабатывается техническая документация.

## ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ

Для определения усилия прокола, используем опыт статического зондирования [5], согласно которому на эффективность прокола положительно влияет заострение наконечника, особенно для связных грунтов.

Формула  $F_u = K_m \cdot P_s \cdot u / u_s$  (4.27) [5, с.71] также выражает зависимость между предельным сопротивлением сваи  $F_u$  и общим сопротивлением вдавливанию зонда  $P_s$ .

где:  $u, u_s$  - периметры сваи и зонда

$$K_m = 2 \cdot f_m / f_{m0} \quad (4.28) \text{ [5, с.71].}$$

Примеч:  $f_{m0} = 0.1 \text{ МПа}$ , при  $f_m \geq 0.1 \text{ МПа}$   $K_m = 1$ .

$K_m$  зависит от приведенного сопротивления грунта  $f_m$ , определяемого как отношение общего сопротивления грунта вдавливанию зонда  $P_s$  к площади его боковой поверхности:

$$f_m = P_s / u_s \cdot h_s \quad (4.26) \text{ [5, с.71]}$$

Для лидерной секции, например, ( $A_L = 0,0327 \text{ м}^2$ ,  $u_{sl} = 0,66 \text{ м}$ ,  $h_{sl} = 0,3 \text{ м}$ ) общее сопротивление грунта вдавливанию  $P_{sl}$ , с достаточной степенью точности для нашего случая, на глубине 6,6 м при показателе текучести  $J_L = 0,4$ , можно принять  $P_{sl} = A_L \cdot q_{sl}$ , где:  $q_{sl}$  – удельное сопротивление грунта под наконечником лидерной секции (зонда) определим из формулы:

$$J_L = 0,65 - 0,0013q_s \quad (4.26) \text{ [5, с.55].}$$

Откуда  $q_{sl} = (0,65 - 0,4) / 0,0013 = 19,2 \text{ кгс/см}^2 = 192 \text{ тс/м}^2 = 1920 \text{ кПа}$ , что близко к  $R = 2050 \text{ кПа}$  по табл.1 СНиП 2.02.03 – 85. Следовательно:  $P_{sl} = 0,0327 \cdot 1920 = 62,8 \text{ кН}$ ,  $f_m = 62,8 / 0,66 \cdot 0,3 = 317 \text{ кПа} = 0,317 \text{ МПа} \geq 0,1 \text{ МПа}$ . Откуда  $K_m = 1$ . Таким образом, для лидерной секции:  $F_{ил} = 1 \cdot P_{sl} \cdot 1$ .

Расхождения в значениях  $F_u$  и  $P_s$  могут изменяться с глубиной:  $K_m = 1,13$  для суглинков на глубине 9...11 м,  $K_m = 1,25$  – на глубине 13...15 м [5, с.73].

Учитывая ориентировочность исследования, с некоторым запасом ( $F_u$  всегда больше  $P_s$ ), в качестве усилия прокола принимаем  $F_u$ :

$$F_u = \gamma_{cq} \cdot \beta_1 \cdot q_s \cdot A + \gamma_{cf} \cdot \beta_2 \cdot f_s \cdot u \cdot h \quad (4.29) \text{ [5, с.74]}$$

где:  $\gamma_{cq} = 1,25$ ;  $\gamma_{cf} = 2$  по табл.4.9[5] с.74

$\beta_1 = 0,8$ ;  $\beta_2 = 0,75$  по табл. А.6[5] с.67 при  $q_s = 2 \text{ МПа}$

$f_s = 32 \text{ кПа}$  по табл. 2СНиП 2.02.03-85

$q_s = R \cdot K_\lambda = 2100 \cdot 0,87 = 1830 \text{ кПа}$

$R = 2100 \text{ кПа}$  по табл.1 СНиП 2.02.03-85

$K_\lambda$  – коэффициент на увеличение заострения (в нашем случае  $2\lambda = 40^\circ$ )

определим исходя из формулы движения клина:

$$F_u = 2N (f \cdot \cos\lambda + \sin\lambda) \quad (12) [6, \text{с.15}].$$

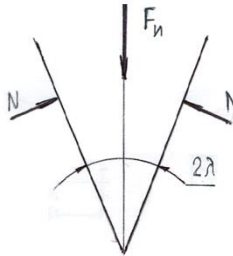


Рис. 4.

Откуда:  $(0,5 \cos 30^\circ + \sin 30^\circ) K_\lambda = 0,5 \cos 20^\circ + \sin 20^\circ$  или  $(0,435+0,5) K_\lambda = 0,47+0,34$  или  $K_\lambda = 0,87$ . где  $f = \operatorname{tg} 27^\circ = 0,5$  – коэффициент трения металла по грунту [7].

Усилие (макс.) прокола для секции 7: ( $A = 0,0435\text{м}^2$ ,  $u_p = 0,96\text{м}$ ):

$$F_{up} = 1,25 \cdot 0,8 \cdot 1830 \cdot 0,0435 + 2 \cdot 0,75 \cdot 32 \cdot 0,96 \cdot 0,3 = 79,6 + 13,8 = 93,4 \text{ кН.}$$

Усилие (макс.) прокола для секции 6: ( $A = 0,0327\text{м}^2$ ,  $u_l = 0,66\text{м}$ ):  $F_{ul} = 1,25 \cdot 0,8 \cdot 1830 \cdot 0,0327 + 2 \cdot 0,75 \cdot 32 \cdot 0,66 \cdot 0,3 = 60 + 10 = 70 \text{ кН.}$

Усилие погружения звена обсадной трубы ( $A = 0,0025\text{м}^2$ ,  $u_o = 0,5 \text{ м}$ ) при  $f_o = (32+10)0,5 = 21 \text{ кПа}$  по табл.2 СНиП2.02.03-85;  $\beta_2 = (1,03+0,75)0,5 = 0,89$  по табл. 4.6[5]с.67:  $F_{uo} = 1,25 \cdot 0,8 \cdot 1830 \cdot 0,0025 + 2 \cdot 0,89 \cdot 21 \cdot 0,5 \cdot 6 = 4,6 + 112 = 116,6 \text{ кН.}$

Усилие прокола бетонной смеси при образовании уширенной пяты ( $D_5 = 560\text{мм}$ ):  $F_{uy} = \gamma_{cq} \cdot \beta_1 \cdot q_s \cdot A_{uy}/u_l + \gamma_{cf} \cdot \beta_2 \cdot f_{s6} \cdot u_l \cdot h = 1,25 \cdot 1,05 \cdot 1830 \cdot 0,0327 \cdot 1,76/0,66 + 2 \cdot 0,75 \cdot 37 \cdot 0,66 \cdot 0,3 = 209 + 11 = 220 \text{ кН.}$

где:  $f_{s6} = (58+16)0,5 = 37 \text{ кН}$  для песков по табл. 2 СНиП2.02.03-85

$$u_y = \pi D_5 = 3,14 \cdot 0,56 = 1,76 \text{ м.}$$

Удерживающее усилие, при образовании уширенной пяты, от сопротивления грунта по боковой поверхности обсадной трубы:

$$P_o = f_o \cdot u_o \cdot h_o = 21 \cdot 1,04 \cdot 6 = 131 \text{ кН.}$$

Общее удерживающее усилие при образовании уширенной пяты:

$$\sum P = P_o + G = 131 + 100 = 231 \text{ кН} > F_{uy} = 220 \text{ кН,}$$

где  $G$  - вес противовесов.

## ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ СРАВНЕНИЕ ВАРИАНТОВ

Эффективность ( $\Xi$ ) определим из отношения несущей способности по грунту  $F_d$  к материальным ( $M$ ) и производственным ( $\Pi$ ) затратам при заглублении  $6,6\text{м}$ , показателе текучести несущего слоя  $I_L = 0,4$  и усредненном сопротивлении грунта по боковой поверхности  $f_{cp} = 20 \text{ кПа}$ .

I свая проколонабивная (рис. 2). II свая бурунабивная: диаметр ствола 400 мм, диаметр уширенной пяты 700 мм,  $A = 0,385\text{ м}^2$ . III свая вдавливаемая: сторона ствола 300 мм,  $A = 0,09\text{ м}^2$ .

$$F_d = R \cdot A + u \cdot f_{cp} \cdot h \quad R - \text{ по таблицам 1,7 СНиП2;02,03-85}$$

I	$F_d = 640\text{ кН см. Рис. 2}$
II	$F_d = 600 \cdot 0,385 + 2,5 \cdot 20 \cdot 6 = 231 + 300 = 531\text{ кН}$
III	$F_d = 2100 \cdot 0,09 + 1,2 \cdot 20 \cdot 6,6 + 189 + 158 = 347\text{ кН}$

Таблица 1

### Эффективность (Э) вариантов

В-т	Наименование		Ед. изм.	К-во	Стоимость, тыс.грн		Э = $F_d / (M + \Pi)$	
					Ед.	Общ.		
I	M	Бетон	$\text{м}^3$	0,63	0,98	0,62	363	2,6
		Армат.сталь	т	0,04	8,60	0,34		
	П		п.м.	6,60	0,12	0,80		
II	M	Бетон	$\text{м}^3$	0,91	0,95	0,86	265	1,9
		Армат.сталь	т	0,04	8,60	0,34		
	П		п.м.	6,60	0,12	0,80		
III	M	Сборная конструкция	$\text{м}^3$	0,59	2,78	1,64	139	1,0
	П		п.м.	6,60	0,13	0,86		

### ВЫВОД

Проколонабивные сваи целесообразно выполнять на кровле достаточно плотных слоёв грунта ( $J_L \leq 0,4$ ), поскольку уширенная пята компенсирует необходимость в них заглубления при той же, или большей, несущей способности, в зависимости от размера её диаметра, контролируемого количеством порций.

Степень внедрения: разрабатывается техническая документация на приведенный вариант.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Основания и фундаменты: справочник по общестроительным работам / под ред. М.И. Смородинова. - М.: Стройиздат, 1974. - С.217-233.
2. Пат. VA75013C2 Україна, 15.02.2006.

3. Посібник з проектування та спорудження фундаментів у пробитих свердловинах / ДК України у справах містобудування і архітектури. - Київ, 1997.
4. Пат. VA110421C2 Україна, 25.12.2015.
5. Мариупольский Л.Г. Исследования грунтов для проектирования и строительства свайных фундаментов / Мариупольский Л.Г. – М.: Стройиздат, 1989.
6. Фиделев А.С. Строительные машины / Фиделев А.С. - К.: Высшая школа, 1979. - с. 15.
7. Васильев А.А. Дорожные машины / Васильев А.А. - М.: Машиностроение, 1987. – с. 140.

## REFERENCES

1. Smorodinov M.I. (Eds.). (1974). Osnovania i fundamentu: spravochnik po obshestroitelnum rabotam [Footings and Foundations: General Construction Works Reference Book]. Moscow, Stroyizdat [in Russian].
2. Patent of Ukraine for invention UA75013 C2, February 15, 2006.
3. Posibnuk z proektuvannya ta sporudzennya fundamentiv u probuyuh sverdlovinah [Reference Book for Foundations Design and Construction in Drilled Holes]. (1997). State Committee of Ukraine for Urban Development and Architecture. Kyiv [in Ukrainian].
4. Patent of Ukraine for invention UA 110421 C2, December 25, 2015.
5. Mariupolskyi L.G. (1989). Issledovania gruntov dla proektirovaniya I stroitelstva svainuh fundamentov [Soils Research for Pile Foundation Design and Construction]. Moscow: Stroyizdat [in Russian].
6. Fidelov A.S. (1979). Stroitelnye mashinu [Construction Machines]. Kyiv: Vyscha Shkola [in Russian].
7. Vasilyev A.A. (1987). Doroznye mashinu [Road-Building Machines]. Moscow: Mashinostroyeniye [in Russian].

Статья поступила в редакцию 23.02.2016 г.