

УДК 624.131

**ПРОГНОЗ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ
ВИБРОНАБИВНЫХ СВАЙ
ПРИ ДИНАМИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЯХ**

Никитенко М.И., Моради С.Б.

*Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь*

Изложена сущность технологии устройства вибронабивных свай в сложных геологических условиях с оценкой ее достоинств и недостатков. Приводятся результаты прогноза несущей способности оснований таких свай по результатам расчетов и фактические значения, полученные при их испытаниях.

Synopsis the essence of devices bored vibrating piles technology in unfavorable geological conditions with valuating its advantages and advantages. The results of the prediction of bearing capacity of piles on the basis of such calculations and actual values obtained when testing.

Введение

В устойчивых (плотных песчаных или глинистых) грунтах для устройства буронабивных свай обычно применяют самый простой способ проходки скважин шнеком без крепления стенок от обрушения. В рыхлых осыпающихся или оплывающих грунтах приходится применять крепление стенок скважин обсадными трубами, что существенно удорожает и усложняет технологию. Однако при этом, во избежание снижения сопротивления грунта под пятами свай за счет возникновения шлама или фильтрационного разупрочнения

грунта в забое скважин при разности напоров вне и внутри обсадки, требуется зачистка забоя от шлама или его уплотнение.

Использование подвесных вибропогружателей или типа АВІ на жестких направляющих (рис. 1) ускоряет проходку скважин обсадными трубами с теряемыми крышками на нижнем торце и обеспечивает вытеснение с уплотнением окружающего грунта даже при наличии в нем подземной воды. Такая технология устройства буронабивных свай активно применяется в геотехнической практике Республики Беларусь. Хотя она сопряжена с вредными динамическими воздействиями, которые можно минимизировать при щадящем режиме вибрации, но имеет ряд достоинств и обеспечивает больший эффект чем традиционные в сложных геологических условиях.

1. Сущность технологии устройства вибронабивных свай, ее достоинства и недостатки

Технология устройства свай включает проходку скважин посредством вибропогружения стальных конического пуансона или обсадной трубы с теряемой крышкой (рис. 1), погружения в нее арматурного каркаса, заполнения трубы бетонной смесью (рис. 2) с последующим ее извлечением при включенном вибраторе для уплотнения смеси при формировании ствола сваи в скважине.

При проходке скважин до несущего слоя через насыпные и биогенные грунты требуется их выемка для исключения попадания под пяту сваи. В таких случаях труба должна погружаться с открытым нижним концом, слабые биогенные грунты извлекаться желонкой, а уплотненная пробка из несущего слоя затем вытесняться вниз при помощи внутренней трубы с заглушенным нижним торцом. Этим же штампом можно вытрамбовывать уширенную пяту (рис. 3) из заполняющей наружную обсадную трубу порциями сухой бетонной смеси. Сухая смесь под нижними концами свай дренирует пластичные глинистые грунты и существенно улучшает их свойства.

Чтобы сократить сроки проведения статических испытаний свай, обусловленные процессом набора прочности бетоном, до их массового изготовления на объекте нами предлагается испытывать стальные трубы, из которых наружная обсадная выполняет роль сдвигаемого ствола, а внутренняя с заглушенным нижним торцом сжимает грунт под пятой сваи.



а



б

Рис. 1. Проходка скважин для буронабивных свай:
а – погружением конического пуансона подвесным вибратором;
б – погружением обсадной трубы вибратором на жесткой направляющей станка АВИ



Рис. 2. Бетонирование ствола сваи
в обсадной трубе из миксера



Рис.3. Труба-штампа с глухим
торцом и раскопанная пяты сваи

При проектировании несущую способность оснований свай прогнозируют суммированием расчетных сопротивлений сдвигу на боковой поверхности и сжатия под нижним концом. Их определяют

по результатам зондирования [1, 2] или табличным значениям [3, 4, 5] для разных глубин и грунтов с учетом изменчивости их свойств за счет технологических особенностей устройства свай.

Достоверность прогноза оценивают сравнением с данными динамических [3] или статических [6] испытаний свай в конкретных геологических условиях, причем статические испытания дают наиболее объективную информацию.

Прогнозируемые значения несущих способностей свай на одном из объектов по результатам зондирования и по табличным расчетным сопротивлениям грунтов оказались не только заниженными, но и завышенными по сравнению с фактическими [7].

Достоинства технологии выполнения вибронабивных свай в слабых глинистых грунтах при высоком уровне подземной воды ярко проявились на объекте «Культурно-оздоровительный центр с гостиницей в районе улицы Нововиленской и Канатного переулка в г. Минске», где одним из авторов осуществлялось научное сопровождение работ нулевого цикла с корректировкой конструктивно-технологических решений. При погружении вибратором обсадной трубы с теряемой крышкой внизу до проектной глубины была возможность прогноза несущей способности грунта в основании свай по величине отказа, т.е. осадке трубы в метрах за минуту воздействия вибратора при известных его массе и возмущающей силе (эквивалентной расчетной энергии).

Даже при недостаточной несущей способности основания на проектной глубине можно было не продолжать погружение трубы, а повысить общее сопротивление грунта за счет вытрамбовывания уширения под пятой. Для этого достаточно было заполнить трубу внизу на примерно метровом отрезке сухой бетонной смесью, приподнять трубу до полуметра и вытрамбовать уширение внутренней трубой-штампом до получения проектной величины отказа.

2. Прогноз несущей способности вибронабивных свай при их динамических испытаниях

Частные значения предельных сопротивлений основания свай $F_{и}$, кН, по данным их погружения вибропогружателями с измерением остаточных отказов S_a определялись согласно [3] по формуле

$$F_u = \gamma_{cu} \cdot \frac{\eta \cdot A_c \cdot M}{2} \cdot \left(\sqrt{1 + \frac{4 \cdot E_d}{\eta \cdot A_c \cdot S_a} \cdot \frac{m_1 + \varepsilon^2 \cdot m_2}{m_1 + m_2}} - 1 \right).$$

При погружении трубы для нашего случая в песчаный грунт $\gamma_{cu} = 1$. При этом фактические остаточные отказы S_a , м составят:

$$S_a = \frac{4 \cdot E_d \cdot \left(\frac{m_1 + \varepsilon^2 \cdot m_2}{m_1 + m_2} \right)}{\eta \cdot A_c \cdot \left[\left(\frac{2 \cdot F_u}{\eta \cdot A_c \cdot M} + 1 \right)^2 - 1 \right]}.$$

В этих формулах E_d – расчетная энергия вибропогружателя, кН, определяемая по табл. 7.4 [3] в зависимости от его возмущающей силы; A_c – площадь сплошного сечения ствола сваи или погружаемой стальной трубы с теряемой крышкой внизу, м²; η – коэффициент, принимаемый по таблице 7.1 [3] в зависимости от материала сваи, кПа (для металлических труб и железобетонных свай $\eta = 1500$ кПа); M – коэффициент, принимаемый по таблице 7.2 [3] в зависимости от вида грунта (для песка $M = 1,2$); m_1 – масса вибропогружателя, т; m_2 – масса сваи или трубы, т; ε – коэффициент восстановления удара. Для вибропогружателей $\varepsilon = 0$.

Поскольку при проходке всех скважин измерялись отказы от погружений обсадных труб с теряемыми крышками внизу, оказалось возможным определить на данном объекте значения несущих способностей грунтов в основании каждой из свай (их на объекте было несколько тысяч) и допустимых нагрузок. Для этого были выполнены соответствующие расчеты и построены графики зависимостей сопротивлений грунтов от величин отказов при погружении обсадных труб для используемых типов вибропогружателей (рис. 4).

Такой подход позволил установить несколько зон с недостаточным сопротивлением грунтов (таблица), которые не были выявлены между разведочными скважинами на литологических разрезах по данным изысканий. В данных зонах были оперативно приняты необходимые меры по обеспечению восприятия проектных нагрузок на свайные ростверки за счет устройства дополнительных свай или уплотнения грунта под подошвами ростверков втрамбовыванием слоя щебня.

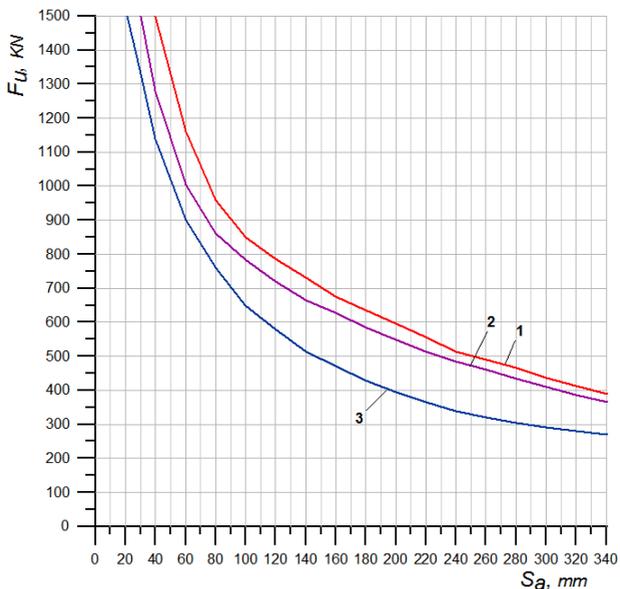


Рис. 4. Зависимости сопротивлений грунта F_u от отказов S_a при погружении труб $\varnothing 426$ мм длинами по 10 м с крышками внизу вибропогружателями с параметрами:
 1 – $m_1 = 4,0$ т при $E_d = 405$ кН; 2 – $m_1 = 3,5$ т при $E_d = 310$ кН;
 3 – $m_1 = 2,5$ т при $E_d = 865$ кН

Значения достигнутых при погружении на глубины 7,1–9,1 м труб $\varnothing 425$ мм отказов S_a , несущих способностей оснований F_u , допустимых нагрузок N и проектных усилий на сваи P

№№ свай по плану	S_a , мм/мин	F_u , кН ($N = F_d/1,4$)	P , кН
Сваи с недостаточной несущей способностью грунта в основании			
598–602, 605–625, 627–636, 640–645, 649–653, 655, 657, 695–697, 700, 701, 707–736, 756, 759, 761, 762, 764, 770, 771, 774, 775, 777, 778, 780–782, 784–809, 831–846, 847–861, 862–868, 872, 873, 874, 879–883, 886, 887, 885, 888, 889, 890, 891, 892, 893, 973, 1159, 1163	15–40	1700–1200	1340
	30–80	(1214–857) 1500–830 (1071–629)	

Продолжение таблицы

№№ свай по плану	S_a , мм/мин	F_u , кН ($N = F_d/1,4$)	P , кН
5, 6, 10, 12, 13, 20, 21, 31, 38, 42, 44, 50, 55, 57, 59, 64, 106, 146, 147, 149, 156, 157, 159, 164, 165, 167, 171, 173, 177, 181, 182, 184, 188, 217, 218, 224, 228, 229, 239, 240, 242, 243, 248–250, 296–300, 301, 310, 311, 315, 318, 335, 336, 350, 353, 356, 361–368, 370, 372–375, 387–389, 410, 479, 489–491, 495, 502, 520–522, 525, 528, 533–536	30–80	1350–880 (964–629)	1000
1165, 1180, 1188, 1193, 1198–1204, 1206–1208, 1259, 1262, 1263, 1265, 1290, 1291, 1307–1314, 1319	40–80	1200–880 (850–629)	927
905, 916, 934, 991, 993, 1004, 1007, 1059	60–80	1000–880 (714–629)	750 1000
Сваи с достаточной несущей способностью грунта в основании			
603, 604, 638, 639, 647, 648, 656–758, 760, 763, 769, 772, 773, 776	10–30	3469–2050 (2478–1464)	1340
1–4, 7, 8, 11, 14–19, 22–28, 30, 32–37, 39, 40, 41, 43, 45–54, 56, 58, 60, 61, 63, 62, 101, 105, 137–141, 143–145, 148, 155, 158, 160–162, 166, 168–170, 172, 174–176, 178, 179, 183, 185–187, 189, 190, 216, 219–223, 225–227, 230–234, 236, 238, 241, 244, 245, 247, 251, 252, 258, 259, 262, 304–309, 312, 313, 315, 319, 320, 322, 331, 333, 334, 337–339, 351, 352, 354, 355, 357, 371, 376–379, 382, 384–386, 477, 478, 480–488, 492–494, 496, 497, 499, 500, 507, 508, 513–519, 523, 524, 526, 527, 529, 530–532, 537–540, 587А, 594, 595А, 596А,	10–40	3017–1400 (2155–1000)	1000

№№ свай по плану	S_a , мм/мин	F_u , кН ($N = F_d/1,4$)	P , кН
1135, 1136, 1139, 1140, 1142–1154, 1156, 1158, 1160–1162, 1176–1179, 1189–1192, 1194–1197, 1205, 1209–1211, 1224, 1226, 1256, 1257, 1264, 1270–1272, 1306, 1315–1318, 1225, 1227, 1228, 1258	25–30	1500–1350 (1071–964)	927
894–904, 906–915, 917–926, 928, 930, 931, 933, 935–941, 944–947, 949–955, 957–972, 976–979, 981–987, 989, 990, 992, 996, 997, 999–1003, 1005, 1006, 1009, 1011–1013, 1015–1018, 1020–1046, 1048–1056, 1060, 1061, 1063–1071, 1166, 1167, 1169–1171	10–50	3017–1400 (2155–1000)	750

Заключение

Достоинствами технологии устройства вибронабивных свай при погружении обсадных труб с теряемыми крышками являются:

- большая скорость и простота производств работ;
- возможность выполнения свай в различных геологических условиях независимо от уровня грунтовых вод за счет выбора рациональных приемов проходки скважин, бетонирования стволов и вытрамбовывания уширений под их нижними концами;
- высокое качество бетонируемых стволов свай за счет вибрирования заполняющих скважину бетонных смесей, которые благодаря этому могут иметь оптимальные водоцементные отношения, хорошую подвижность и не разжижаться избыточно при взаимодействии с подземными водами;
- возможность оценки несущей способности оснований свай на проектных глубинах за счет измерения отказов при вибропогружении обсадных труб с теряемыми крышками или вытрамбованными уширениями под нижними концами стволов;
- последнее достоинство позволяет обнаружить невыявленные изысканиями зоны слабых грунтов между разведочными выра-

ботками (скважинами и точками зондирования) и оперативно принять требуемые меры для обеспечения восприятия проектных нагрузок на свайные фундаменты и повышения эксплуатационной надежности надземных конструкций.

Литература

1. Основания и фундаменты зданий и сооружений. Основные положения. Строительные нормы проектирования : ТКП 45-5.01-254-2012. – Минстройархитектуры Республики Беларусь. – Минск, 2012. – 176 с.

2. Проектирование забивных и набивных свай по результатам зондирования грунтов : Пособие П2-2000 к СНБ 5.01.01-99. – Минстройархитектуры Республики Беларусь. – Минск, 2001. – 23 с.

3. Проектирование забивных свай : Пособие П 4-2000 к СНБ 5.01.01-99. – Минстройархитектуры Республики Беларусь. – Минск, 2001. – 68 с.

4. Проектирование и устройство буронабивных свай : Пособие П 13-01 к СНБ 5.01.01-99. – Минстройархитектуры Республики Беларусь. – Минск, 2002. – 43 с.

5. Проектирование и устройство фундаментов из свай с уплотненным основанием : Пособие П 19-04 к СНБ 5.01.01-99. – Минстройархитектуры Республики Беларусь. – Минск, 2006. – 88 с.

6. Грунты. Методы полевых испытаний сваями : СТБ 2242-2011. – Минстройархитектуры Республики Беларусь. – Минск, 2012. – 36 с.

7. Никитенко, М.И. Методы определения несущей способности буронабивных свай по технологии SFA / М.И. Никитенко, С.Б. Морادي, Н.В. Черношей // Строительная наука и техника. – 2008. – № 1(34). – С. 43–49.